

627.82

A-67

627,82

АНИСИМОВ, Н. И., инж.

ПЛОТИНЫ

ВОДОУДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ
И ВОДОПОДЪЕМНЫЕ.

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ).

ЧАСТЬ II.

ВОДОПОДЪЕМНЫЕ ПЛОТИНЫ.

С 12 РИС. В ТЕКСТЕ И 430 ЧЕРТ. В ОТДЕЛЬНОМ АЛБАСЕ.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.

Москва — 1924 г.

Государственное Техническое Издательство.

МОСКВА, Ильинка, Юшков пер., д. 6. Тел. 2-56-34.

ИНЖЕНЕРНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ БИБЛИОТЕКА.

(Названия без звездочек — имеются в продаже
названия со звездочками — находятся в печати)

- Александров, В. А., проф. Электрическое оборудование современных автомобилей и мотоциклов. М. 1923 г. 190 стр. 197 рис. Ц. 2 р. 40 к.
- Его же. Практические работы по электротехнике. М. 1923 г. 511 стр. 340 рис. Ц. 6 р.
- Анисимов, Н. И., инж. Плотины водоудержательные и водоподъемные. (Конспект лекций). Ч. I. Водоудержательные плотины. М. 1923 г. 68 стр. 94 рис. Ц. 1 р.
- Аппель. Элементы математического анализа. Часть I. Функции одного независимого переменного. Под редакц. И. И. Привалова. М. 1924 г. 220 стр. 105 рис. Ц. 3 р. 20 к.
- Баранов, А. А., инж.-техн. Сушка тканей. М. 1923 г. 20 стр. 2 диагр. Ц. 55 к.
- Барбот-де-Марни, Е. Н., горн. инж. Драгирование рассыпных месторождений золота и платины. М. 1924 г. 112 стр. 25 рис. Ц. 2 р. 20 к.
- Баумгартен, Ф. Р. Психотехника. Б. 1922 г. 246 стр. 110 рис. Ц. 3 р. 50 к.
- Берлов, М. Н., проф. Детали машин. Вып. I. Болтовые и клиновые соединения. П. 1921 г. 116 стр. Ц. 4 р. 70 к.
- Его же. Детали машин. Вып. II. Клепка балок и колонн. М. 1922 г. 69 стр. Ц. 2 р. 60 к.
- Его же. Детали машин. Вып. IV. Передаточные механизмы. М. 1922 г. 64 стр. 12 табл. Ц. 3 р. 65 к.
- Его же. Детали машин. Вып. X. Графостатика. Ч. I. М. 1922 г. 100 стр. Ц. 4 р. 40 к.
- Буднинов, П. П., проф. Глина и глиняные изделия, глазури, фарфоровые краски и стекло. М. 1923 г. 99 стр. Ц. 80 к.
- Его же. Техно-химический анализ. М. 1923 г. 151 стр. Ц. 1 р. 20 к.
- Бурданов, А. А., инж. Из практики с центробежными насосами. Руководство для инженеров, техников и студентов. М. 1923 г. 170 стр. 150 рис. 12 табл. Ц. 1 р. 90 к.
- Бухонов, И., инж. Угарное и виговое прядение. Производство одежды и гигроскопической ваты. М. 1923 г. 80 стр. Ц. 1 р. 30 к.
- Ванков, С. Н., проф. О нормализации металлообработ. промысл. М. 1921 г. 24 стр. Ц. 11 к.
- Васильев, Н. А., проф. Сельфактор (для гладкой и пушистой пряжи). М. 1922 г. 179 стр. 138 рис. Ц. 2 р. 20 к.
- Велихов, П. А., проф. Теория инженерных сооружений. Опыт слитного изложения основ сопротивления материалов и строительной механики. Вып. I. М. 1923 г. 304 стр. 200 рис. Ц. 3 р. 50 к.
- Визент, И. Успехи радиотелеграфии. М. 1923 г. 36 стр. 22 рис. Ц. 45 к.
- Винкель, Г. Руководство к универсальной счетной таблице. М. 1922 г. 26 стр. 1 табл. Ц. 4 к.
- Винтерботом, Д. Расчеты по хлопкопрядению и стоимости пряжи. Перев. с англ. инж.-мех. И. И. Браншта, под ред. проф. А. Н. Державина. М. 1921 г. 272 стр. 48 рис. Ц. 113 р.
- Гавриленко, А. Я., проф. Механическая технология металлов. Обработка металлов резанием. Ч. VI. М. 1920 г. 619 стр. 846 рис. Ц. 6 р. 50 к.
- Гипплер, В., инж. Токарное дело и его инструменты в современных производствах. М. 1923 г. 379 стр. 319 рис. Ц. 5 р. 20 к.
- Глебов, С. Ф., инж. Процесс резания — как единая эмпирич. формула. М. 1923 г. 42 стр. 8 рис. Ц. 44 к.
- Горбунов, Н. С. Руководство по цементации железа. М. 1924 г. 32 стр. 24 рис. Ц. 6 р. 40 к.
- Горюхов, Г. Проектирование, изготовление и применение кузнечных штампов. Перев. с нем. проф. А. И. Сидорова. Б. 1922 г. 32 стр. 206 рис. Ц. 66 к.
- Дмитриев, Н. Я., проф. Органическая химия. Часть 2-я. М. 1924 г. Изд. 2-е. 144 стр.
- Дрейер, В., инж. Электрическое освещение фабрично-заводских зданий. М. 1922 г. 38 стр. 22 рис. Ц. 45 к.
- Жуковский, Н. Е., проф. Теоретическая механика (кинематика). М. 1922 г. 177 стр. 177 рис. Ц. 3 р. 25 к.
- Его же. Теоретическая механика. Часть I. (Статика и графостатика). М. 1924 г. Изд. 7-е. 193 стр. 193 рис. Ц. 2 р. 90 к.
- Его же. Заметки по вариационному исчислению. М. 1923 г. 20 стр. 12 рис. Ц. 33 к.
- Зуев, А. Д., проф. Свекло-сахарное производство. Дефекация и сатурация. М. 1922 г. 30 стр. Ц. 4 р. 90 к.
- Иванов, инж. Новейшие испытательные машины. Б. 1920 г. 80 стр. 62 рис. Ц. 1 р. 50 к.
- Иванов, М. Н. Приготовление синтетических химико-фармацевтических препаратов. Практические работы для химиков, медиков и фармацевтов. Под ред. проф. И. И. Браншта. М. 1923 г. 299 стр. 69 рис. Ц. 3 р. 60 к.
- Иванов, М. А., проф. Графические таблицы для расчета железобетонных сооружений. М. 1923 г. 34 стр. 14 табл. 8 черт. Ц. 45 к.

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Р. С. Ф. С. Р.

Научно-Технический Отдел В. С. Н. Х.

Б. Серия 4.

Инженерно-Промышленная Библиотека.

№ III—11.

АНИСИМОВ, Н. И., инж.

627 82
А-67

ПЛОТИНЫ

ср
5036
ВОДОУДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ
И ВОДОПОДЪЕМНЫЕ.

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

проверен

1966 г.

ЧАСТЬ II.

ВОДОПОДЪЕМНЫЕ ПЛОТИНЫ.

с 12 рисунками в тексте и 430 черт. в отдельном атласе.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.



Москва — 1924 г.

*Без разрешения Гостехиздата
перепечатка не допускается.*

Предисловие ко 2-й части.

Крайняя бедность русской технической литературы по вопросам гидротехники и в связи с этим тяжелое положение студентов многих высших технических учебных заведений заставили меня выпустить в свет книгу, составленную в качестве конспекта лекций по плотинам.

При составлении конспекта пользовался русской и преимущественно иностранной технической литературой, а также сведениями и выводами, полученными из собственной практической деятельности.

Конспект не претендует на исчерпывающую полноту изложения, но содержит ряд сведений, крайне важных для изучения вопроса и не помещенных до сего времени в литературе.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность инж. К. А. Вержбицкому, составившему часть параграфа четвертого раздела II, гл. III, ч. II и параграф второй раздела III, гл. III, ч. II („русский тип деревянной щитовой плотины“).

Перечень литературных источников.

I. Вододержательные плотины.

1. *Акулов, К. А.* Судходные каналы.
2. *Бассель.* Земляные плотины.
3. *Белзевкий.* Статика сооружений.
4. *Зброжек.* Курс внутренних водяных сообщений.
5. *Крейтер.* К вопросу о расчете и возведении каменных вододержательных плотин.
6. *Bligh.* The practical design of irrigation works.
7. *Merriman.* Civil Engineer's Pocket Book.
8. *Emperger.* Eisenbetonbau.
9. *Schuyler.* Reservoirs for irrigation.
10. *Smith.* The construction of masonry dams.
11. *Wegman.* The design and construction of dams.
12. *Wilson.* Irrigation Engineering.
13. *Ziegler.* Talsperrenbau

и другие.

II. Водоподъемные плотины.

1. *Акулов, К. А.* Материалы для проектирования французских водоподъемных плотин.
2. *Акулов, К. А. и Калинович, Б. Ю.* Краткие сведения о различных типах разборчатых плотин.
3. *Анисимов, Н. П.* О рациональной организации водоотлива при шлюзовании рек.
4. *Его же.* К вопросу о производстве работ по устройству шлюзов и плотин на реках.
5. *Водарский, Е. А.* Лесосплав.
6. *Гебель, В. Г.* Цилиндрические затворы плотин.
7. *Зброжек.* Курс внутренних водяных сообщений.
8. *Колмычев, В.* Влияние условий службы разборчатой плотины на определение наивыгоднейшего ее типа.
9. *Керзун.* Цилиндрические плотины.
10. *Флинн.* Иригационные каналы.
11. *Юргевич.* Перемычки с песчаной загрузкой и подводные взрывные работы.
12. *Bligh.* The practical design of irrigation works.
13. *Emperger.* Eisenbetonbau.
14. *Guillemin.* Navigation intérieure.
15. *Lagrené.* Cours de navigation intérieure.
16. *Rehbock.* Wehre.
17. *Thomas and Watt.* The improvement of Rivers.
18. *Wilson.* Irrigation Engineering и др.

О Г Л А В Л Е Н И Е.

ВВЕДЕНИЕ.

- § 1. Классификация плотин.
- § 2. Цель устройства плотин в разных областях гидротехники.
- § 3. Условия устройства плотин.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ (ОТПЕЧАТАНА).

Водоудержательные плотины.

Глава первая. Общие соображения.

Глава вторая. Земляные плотины и плотины из каменной наброски.

- § 1. Земляные плотины из однородного грунта по всему профилю.
- § 2. Земляные плотины с ядром из водонепроницаемого грунта.
- § 3. Земляные плотины с диафрагмой из каменной кладки, железобетона и пр.
- § 4. Земляные плотины смешанной конструкции
- § 5. Намывные плотины.
- § 6. Плотины из каменной наброски.
- § 7. Ошибки в проектировании и возведении плотин земляных и из каменной наброски и разрушение плотин.
- § 8. Водосливы и водоспуски земляных плотин.

Глава третья. Каменные плотины.

- § 1. Общие соображения.
- § 2. Определение профиля плотины.
- § 3. Водосливы и водоспуски каменных плотин.

Глава четвертая. Железобетонные и металлические плотины.

- § 1. Железобетонные плотины.
- § 2. Металлические плотины.

ПРИЛОЖЕНИЕ К ПЕРВОЙ ЧАСТИ.

Новейшие итальянские водоудержательные плотины.

- § 1. Введение.
- § 2. Земляные плотины.
- § 3. Плотины из каменной наброски.
- § 4. Каменные плотины.
- § 5. Железобетонные плотины.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

Водоподъемные плотины.

Глава первая. Введение.

стр

§ 1. Общие соображения. Принятая классификация	1
§ 2. Основные части профиля водоподъемной плотины, их роль в службе плотины и определение их размеров	2

Глава вторая. Водосливные (глухие) плотины.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин	6
§ 2. Деревянные плотины	7
§ 3. Каменные	8
§ 4. Железобетонные плотины	11
§ 5. Металлические	15

Глава третья. Разборчатые плотины.

Раздел I. Введение.

Возникновение разборчатых плотин, их развитие и главные типы. Требования, предъявляемые к разборчатым плотинам. Принятая классификация.	16
---	----

Раздел II. Разборчатые плотины с постоянными опорами затворов.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин	22
§ 2. Плотины с шандорными затворами	23
§ 3. " со спицевыми	25
§ 4. Щитовые плотины. Щит Стоея. Русский тип деревянной щитовой плотины с постоянными стойками	25
§ 5. Вальцовые плотины	53
§ 6. Сегментные	66

Раздел III. Разборчатые плотины со съёмными опорами затворов.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин	67
§ 2. Русский тип деревянной разборчатой плотины со съёмными стойками	67
§ 3. Плотина Поаре. Флютбеты плотин: бетонные, железобетонные и деревянные	70
§ 4. Плотина Томаса	93
§ 5. " Тавернье	95
§ 6. " Тенара	96
§ 7. " Шанонна	97

Раздел IV. Разборчатые плотины, работающие при действии силы подпора воды.

§ 1. Плотины Дефонтева, Жирара, Кравтца, Делля и секторные плотины.	107
§ 2. Плотина Бертреп	111

Глава четвертая. Выбор типа водоподъемной плотины и расположение сооружений в плане.

§ 1. Выбор типа водоподъемной плотины	120
§ 2. Расположение сооружений в плане	124

Глава пятая. Плотоходы.

§ 1. Общие соображения о пропуске сплаваемого леса чрез плотину	125
§ 2. Лесоспуски	126
§ 3. Плотоходы	127

ГЛАВА ШЕСТАЯ. Рыбоходы.

§	1. Общие соображения. Две группы рыб. Необходимость устройства рыбоходов для обеих групп	128
§	2. Расположение рыбоходов в плане. Примеры	129
§	3. Конструкция рыбоходов для проходных рыб	131
§	4. Особенности конструкции рыбоходов для „оседлых“ рыб	139
§	5. Питание рыбоходов	140

ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Производство работ.

§	1. Общие соображения.	140
§	2. Деление на очереди	141
§	3. Перемычка	141
§	4. Водоотлив и временная силовая станция.	148
§	5. Земляные работы.	150
§	6. Заготовка материалов	155
§	7. Бетонные работы	157
§	8. Перемычка по флотбету (переходная перемычка)	164
§	9. Разборка перемычки	166
§	10. Особенности производства работ по постройке плотин в Америке	169

ЧАСТЬ II.
ВОДОПОДЪЕМНЫЕ ПЛОТИНЫ.
А Т Л А С.

Лист №	1	—	черт.	№№	1—23.
№	2	—	„	№№	24—34, 36—40 и 42.
№	3	—	„	№№	35, 41, 43—59 и 62.
№	4	—	„	№№	60—61, 63—76.
№	5	—	„	№№	77—87, 94—95, 97—101 и 103.
№	6	—	„	№№	88—93, 102 и 104.
№	7	—	„	№№	96, 105—120.
№	8	—	„	№№	121—146.
№	9	—	„	№№	147—173.
№	10	—	„	№№	174—194.
№	11	—	„	№№	195—212.
№	12	—	„	№№	213—229.
№	13	—	„	№№	230—247.
№	14	—	„	№№	248—263 и 266.
№	15	—	„	№№	264—265, 267—280
№	16	—	„	№№	281—288.
№	17	—	„	№№	289—300.
№	18	—	„	№№	301—310.
№	19	—	„	№№	311—321.
№	20	—	„	№№	322—338.
№	21	—	„	№№	339—349.
№	22	—	„	№№	350—374.
№	23	—	„	№№	375—397.
№	24	—	„	№№	398—414.
№	25	—	„	№№	415—420, 425—430.
№	26	—	„	№№	421—424.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

Водоподъемные плотины.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Введение.

§ 1. Общие соображения. Принятая классификация.

Водоподъемными плотинами называются сооружения, устраиваемые на ручьях, реках и каналах для поднятия горизонта воды до требуемого уровня в различных целях (см. введение, часть первая):

- 1) чтобы использовать часть воды для орошения, направив воду самоотеком в оросительные каналы,
- 2) для получения подпора в целях использования силы падения воды,
- 3) для улучшения судоходных условий рек и др. целей.

При этом плотина может представлять собою сплошное тело, через которое переливается вода, а иногда может быть частично или полностью разобрана с освобождением отверстий для прохода воды, иногда до подводного искусственного основания плотины.

В первом случае плотина называется глухой, или водосливной, а во втором — разборчатой.

Подводное искусственное основание плотины называется флутбетом.

При выборе места под плотину приходится руководствоваться следующими соображениями:

- 1) узкое место реки при вполне прочных и надежных берегах и основании плотины предпочтительней, ибо строительная стоимость плотины будет меньше;
- 2) плотина должна пропускать всю воду, которую несет река в различное время года, без повышения горизонта воды выше наперед заданной отметки, а иногда и без увеличения скорости течения выше допускаемой для взводного судоходства ($V_{\max} = 1,80$ м в секунду).

К этим двум основным условиям в зависимости от типа и назначения плотины может быть добавлено много прочих условий.

Естественно, даже первых два основных условия могут противоречить друг другу, ибо условие пропуска воды может заставить отказаться от самого узкого места реки, и выстроить плотину на более широком месте.

Можно представить себе плотину, ось которой наклонена под острым углом к берегу в целях уширения водослива, а следовательно и увеличения пропускной способности плотины.

Классифицируют плотины по роду материала, а чаще по роду конструкций, создающих подпор.

Мы примем следующую классификацию водоподъемных плотин.

Прежде всего делим их на глухие (водосливные) и разборчатые.

Разборчатые плотины делим на 3 группы:

I группа — Разборчатые плотины с постоянными опорными частями затворов. Дальше деление пойдет по типу затворов.

II группа — Разборчатые плотины со съёмными опорными частями затворов.

III группа — Плотины, работающие при действии силы подпора воды.

Дальше деление пойдет по типу затворов. Водосливные (глухие) плотины в дальнейшем классифицируем по роду материала.

§ 2. Основные части профиля водоподъемной плотины, их роль в службе плотины и определение их размеров.

Каждая водоподъемная плотина, если она не устроена на прочном скалистом основании, состоит из трех частей: понура, водобоя и слива, или рисбермы (черт. № 1).

Назначение понура — укрепление подхода к основной части (средней) плотины и ослабление фильтрации воды под флютбетом в силу удлинения пути фильтрации (черт. № 1).

Понур устраивается чаще всего из мятой глины с покрытием ее двойной мостовой и с забивкой впереди понура досчатого шпунтового ряда.

В случае хорошего глинистого грунта ложа реки ограничиваются двойной мостовой, а при скалистом грунте понур отсутствует.

Водобой составляет основную часть плотины.

Передний участок его заключает в себе водослив, а задний служит для восприятия ударов падающей воды и противостоит ее размывающему действию. Водобой устраивается деревянный, бетонный, бутовый или железо бетонный.

Назначение третьей части — рисбермы — противостоят размывающему действию протекающей воды.

Обычный тип рисбермы — сухая кладка из крупного рваного камня с расщебенкою и с покрытием поверхности грубым приколом. При соединении с водобоем рисберма обычно утолщена, ибо в этом пункте имеем наиболее ответственный участок ее, особенно подверженный разрушению.

Устраивается слив также из бетона, что обходится гораздо дороже.

В случае скалистого грунта нет надобности в устройстве сливной части, ибо грунт сам по себе представляет собой надежный слив.

В этом случае все три части сооружения заменяются одной средней и лишь в случае большого перепада плотина снабжается дополнительной стенкой, создающей водяную подушку и ослабляющей удар падающей воды (черт. № 2).

Описанные три части флютбета плотины неизменно рассматриваем как в водосливном типе плотины, так и в любом разборчатом.

В случае слабых грунтов водобой и риберма получают особую конструкцию: под водобоем устраивается свайное основание, а риберма имеет подстилку из хвороста или из фашин, по которой укладывается сухая кладка, обделанная снаружи грубым приколом (описана наиболее часто встречающаяся конструкция).

В Индии при постройке ирригационных плотин вместо свайного основания применяются опускаемые колодцы (грунт песок).

Теперь приведем эмпирические данные, позволяющие наметить основные размеры всех трех частей флютбета плотины.

При определении упомянутых размеров приходится подходить к рассмотрению вопроса как с гидрологической точки зрения, так и с точки зрения статике, со включением эмпирического учета динамических сил.

До настоящего времени не имеется ни одного сколько-нибудь обстоятельного исследования этого вопроса, вполне согласованного с данными практики.

Работа английского инженера Bligh представляет собой грубую попытку установить закономерность в размерах частей флютбета плотины в зависимости от рода грунта, подпора и расхода. При этом за базу приняты размеры сооружений, не вполне достаточно оправдавших свое существование за недолгой их службой.

Выводы применимы, строго говоря, лишь для типов сооружений, рассмотренных Bligh'ем, и при местных условиях сходных с теми, что рассматривал Bligh.

Принятое Bligh'ем линейное падение напора по пути фильтрации произвольно; в различных случаях оно достигает различных уклонов от найденного теоретическими исследованиями (Рос. Гидр. И.).

Замедление падения напора против линейного достигает 40% и выше. Нужны продолжительные и обстоятельные опыты, чтобы вопрос получил разрешение хотя бы в первом приближении.

Наблюдения над плотинной № 1 на р. Дону, где были заложены трубки под флютбетом, показали замедление падения напора у низового шпунтового ряда со стороны бетонной водобойной части флютбета (наблюдения инженера А. И. Фидмана).

Изложим соображения Bligh'a.

Представим себе флютбет водоподъемной плотины при разности горизонтов, равной H (черт. № 3).

Чтобы флютбет был прочен, необходимо соблюдение следующих условий:

1) флютбет должен сопротивляться горизонтальному сдвигу вправо (в сторону нижнего бьефа);

2) флютбет должен быть всюду достаточной толщины, чтобы не произошло поднятия его или излома (проверка на толщину и опрокидывание);

3) *под основанием не должно происходить вымывания грунта, что было бы опасно для существования сооружения, т.-е. скорость фильтрующей воды под сооружением должна вполне отвечать роду грунта и не превосходить предельной скорости, превышение коей вызывает размыв частиц грунта.*

Скорость фильтрации тем больше, чем короче путь фильтрации.

Следовательно третье условие можно заменить другим: *длина фильтрационной линии под флютбетом должна вполне отвечать характеру грунта основания.*

Bligh рекомендует следующую таблицу величин необходимой фильтрационной линии $L = c \cdot H$, где H — подпор (разность горизонтов).

Характер грунта.	Значение величины c	Примечания:
		<i>Примечание 1-е:</i>
Мельчайший песок	18	Мелкий песок . . $d < \frac{1}{2}$ мм
Мелкий слюистый песок . .	15	средний „ . . $d = \frac{1}{2}-2$ „
Грубо-зернистый песок . .	12	крупный „ . . $d = 2-5$ „
Галька с гравием и песком .	9-5	гравий мелкий . $d = .5-8$ „
Глинистый грунт	6 ¹⁾	„ средний . $d = 8-12$ „
		„ крупный . $d = 12-20$ „
		галька $d > 20$ „
		<i>Примечание 2-е:</i>
		Промежуточные значения c находим интерполяцией.

По Köhn'у—(Ausbau von Wasserkräften) для мягких грунтов $c = 8-12$.

В русской и заграничной практике имеется много примеров благополучно существующих сооружений, которые всегда позволяют критически отнестись к размерам, вычисленным по приведенной таблице.

Следовательно, подсчетами и проверкой можно установить необходимую длину фильтрационной линии при заданном грунте и подпоре.

Если взять $L < c \cdot H$, то, по Bligh'у, произойдет размыв грунта и оседание флютбета.

Если $L \geq c \cdot H$, но флютбет не имеет достаточной толщины, то его ждет разрушение из-за поднятия и излома.

Если назовем толщину флютбета в каком-либо сечении через t , удельный вес материала флютбета через ρ , напор, нейтрализовавшийся на пути до данного сечения, через $h = \frac{1}{c}$ при $L = c \cdot H$, получим необходимое неравенство:

$$t\rho > H - h \text{ или } t > \frac{H - h}{\rho}$$

з яв коэффициент запаса m , имеет:

$$t = m \cdot \frac{H - h}{\rho}$$

Если флютбет погружен в воду, то $t = m \cdot \frac{H - h}{\rho - 1}$.

В виду приближенности расчета с одной стороны, а с другой стороны в виду наличия, кроме статических сил, также и динамических, коэффициент m должен быть большим единицы.

Чем больше H и расход, тем больше надо брать m .

¹⁾ Необходимо отметить, что примечание 1-е взято не по Bligh, который вовсе не снабжает таблицу значений „ c “ данными о размерах песчинок.

Частный случай. Вода нижнего бьефа лежит ниже всех частей флютбета (черт. № 4).

В этом случае для расчета берется H_{\max} , показанный на чертеже № 4.

Общая длина фильтрационной линии $L = c \cdot H$ должна быть распределена между понуром, водобоем и шпунтовыми рядами, если таковые имеются (рисберма предполагается водопроницаемой).

При этом приходится помнить, что понур нейтрализует статическое давление, но при нарушении сопряжения понура с водобоем или в силу размыва понура выключается большой участок линии L из работы, и сооружение окажется в опасности.

В силу указанного надо укреплять понур сверху во избежание размыва и не увлекаться чрезмерной его длиной, принятой в расчет.

Кроме водонепроницаемости, понур должен иметь вес, чтобы движение воды под ним не носило характера поверхностного потока.

Последнее соображение относится ко всем частям флютбета плотины.

Водобой по длине своей определяется не только из-за условий фильтрации, но также из условий движения воды по его поверхности, ибо водобой погашает живую силу падающей воды.

Можно применить следующую разбивку общей длины $L = c \cdot H$ (черт. № 5).

Понур	0,4 L
Водобой	0,3 L
Шпунт. ряды	0,3 L
Всего	<u>L</u>

При этом в отношении шпунтовых рядов надо заметить, что они могут быть введены в расчет лишь в случае, когда $l > 2s$; иначе вода фильтрует не по обводу, а по прямой линии, соединяющей острия шпунтов.

Для определения длины водобоя пользуются также формулой Bligh'a:

$$l_{\text{вод.}} = 4c \sqrt{\frac{H_0}{13}},$$

где H_0 — высота гребня водослова над полом в футах.

Общая длина водобоя и рисбермы определяется по формуле Bligh'a:

$$l_{\text{вод.}} + l_{\text{рисб.}} = 10 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{H_1}{10} \cdot \frac{q}{75}},$$

где q — расход в куб. фут. на один пог. фут плотины, а H_1 — высота гребня водослива над горизонтом воды в нижнем бьефе в футах¹⁾. В метрических мерах (метр, M^3 на погонный метр) имеем:

$$l_{\text{вод.}} = 0,613 \cdot \sqrt{H_0}; \quad l_{\text{вод.}} + l_{\text{рисб.}} = 0,662 \cdot c \cdot \sqrt{H_1 \cdot q}.$$

Первое условие требует, чтобы сумма сил, сопротивляющихся сдвигу, была больше суммы сдвигающих сил.

При отсутствии шпунтовых рядов сумма сопротивляющихся сил равна $f \cdot P$, где f — коэффициент трения (0,3 — глина; 0,45 — песок)

¹⁾ Все приводимые формулы грубо-приближенные (по Bligh'y).

кладки о грунт, а P — равнодействующая всех отвесных сил, действующая вниз.

Горизонтальная сдвигающая сила E равна давлению воды в силу созданного подпора ¹⁾. Очевидно, учет всех сил не представляет никаких затруднений. Наличие шпунтовых рядов и отпор грунта принимаем в запас прочности, ибо они вызываются к работе уже в критический момент работы сооружения, в момент нарушения равновесия сил (см. расчет флютбета плотины Поаре).

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Водосливные плотины.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин.

Водосливные плотины устраиваются из фашин, дерева, камня, железобетона и металла.

Рассмотрим сначала общий вопрос об определении отверстия плотины, потребного для пропуска воды при заданных условиях.

В случае вертикальной тонкой стенки и свободного водослива (металлическая плотина стоечного типа)

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \left(H + \frac{u_0^2}{2g} \right)^{3/2},$$

где

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{H} \right) \cdot \left[1 + 0,55 \frac{H^2}{(H+p)^2} \right];$$

при чем $m =$ от 0,41 до 0,48 (черт. № 6).

Необходимое при этом условие — $H > 2$ с (тонкая стенка).

При затопленном водосливе в том же случае имеем ту же формулу при $Z > 0,7$ р (черт. № 7).

При $Z < 0,7$ р затопление начинает оказывать влияние и расход надо умножить на

$$\alpha = \left(1 + 0,2 \frac{h_1}{p} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{H}}.$$

В случае каменного или железобетонного свободного водослива расход определяется по формуле:

$$Q = mb \cdot \sqrt{2g} \left(H + \frac{u_0^2}{2g} \right)^{3/2}, \text{ при этом}$$

$$m = 0,45.$$

В случае затопленного водослива при $z < 0,7$ р величина

$$m_1 = \left(1 + 0,2 \frac{h_1}{p} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{H}} \cdot m.$$

При $z > 0,7$ р имеем тот же результат, как и в случае свободного водослива.

¹⁾ $E = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot H (H + 2h)$ кг на 1 п. м. флютбета, где H — разность горизонтов и h — глубина в покурной части, считая вниз от горизонта нижнего бьефа.

В случае деревянной ряжевой водосливной плотины (см. черт. № 8) имеем случай близкий к широкому водосливу.

При $h_1 < 0,7 H$ подтоп влияния на истечение не оказывает.

Коэффициент m берем равным 0,4 до $h_1 \leq 0,7 H$.

При $h_1 > 0,7 H$ получим коэффициент подтопа

$$\beta = \frac{k_2 \sqrt{1-k_2}}{(k \sqrt{1-k}) \max.} = \frac{k_2 \sqrt{1-k_2}}{0,385}$$

Коэффициент $m_1 = m \cdot \beta = 0,4 \beta$.

При средних значениях имеем:

I. Порог с острым краем (наш случай).

m	M
0,32	1,40

II. Порог с закруглением.

m	M
0,35	1,55

где

$$M = m_1 \sqrt{2g}, \quad m_1 = \varphi \cdot k \cdot \sqrt{1-k}; \quad k = \frac{h}{H + \frac{u_0^2}{2g}}$$

$$Q = M \cdot b \cdot \left(H + \frac{u_0^2}{2g} \right)^{3/2}$$

§ 2. Деревянные плотины.

Простейший тип деревянной водосливной плотины незначительной высоты изображен на чертеже № 9.

Основную часть плотины составляет шпунтовый ряд, схваченный сверху парными насадками по маячным сваям, расположенным через 2,00 м. Во избежание подмыва грунта ниже шпунта устроена каменная отсыпь.

Описанный тип плотины применим при высоте шпунта над грунтом до 1,00 м.

В случае больших высот и подпоров применяют более сильный профиль (черт. № 10), который пригоден при высоте до 1,50 м.

Здесь водобойный участок представляет собой досчатый настил, уложенный по четырем прогонам, под которым находится вымостка из грубо отесанного камня.

Рисбермой является каменная отсыпь.

При небольших подпорах применяется также тип плотины гуськового очертания, в котором падение воды заменено спокойным переливанием.

Примером может служить плотина Lower Yellowstone River (Montana), устроенная на глинистом грунте.

Подпор плотины — 1,50 м.

Конструкция видна из чертежа № 11.

Применение гуська с *повышенным* далее водобоем уменьшает размывающее действие воды на следующем участке плотины — рисберме.

Чертеж № 12 изображает профиль деревянной плотины с заполнением глиной междуплунтовых пространств.

Такая плотина отличается особой водонепроницаемостью и применяется там, где лес и глина значительно дешевле камня.

В качестве примера деревянной плотины на скалистом основании может служить плотина Bear River, имеющая высоту гребня над скалистой подошвой 5,34 м (черт. № 13).

Плотина состоит из брусьев сечением 25×30 см, крепко связанных между собой, а также со скалистым основанием (черт. № 13). Промежутки между брусьями заполнены каменной наброской.

Вода падает не на скалу, а на двойной досчатый настил, погашающий живую силу удара, ибо даже скала при значительной высоте падения может с течением времени разрушиться.

Другой пример деревянной плотины на скалистом основании — Канадская плотина на р. Оттава. Плотина имеет длину 14,00 м. и является примером ряжевой плотины с заполнением из каменной наброски.

Конструкция видна из чертежа № 14.

Чертеж № 15 изображает американский тип плотины из круглого леса.

Плотина устроена на скалистом основании.

Бревна обращены комлем в сторону рисбермы, которая образована выдвинутыми бревнами.

Имеется пример устройства брусчатой плотины с заполнением камнем также на песчано-глинистом грунте. (Черт. № 16). В этом случае применены шпунтовые ряды в количестве 4-х, забитые на глубину до 3,00 м. Кроме того, водобойные участки покрыты листовым железом для предохранения дерева от разрушения.

§ 3. Каменные плотины.

Каменная водосливная плотина имеет тот же профиль, что водослив каменной водоудержательной плотины, если она устроена на скалистом грунте (черт. № 17).

При этом, в случае значительной высоты падения, необходимо иметь непосредственно ниже плотины водяную подушку, смягчающую удар, иначе скалистый грунт с течением времени может подвергнуться разрушению.

Наблюдение над естественными водопадами показали, что в случаях установившегося равновесия, величина перепада относится к толщине подушки, не более как $\frac{5}{1}$ или $\frac{6}{1}$.

Длина подушки по течению равна не меньше $6h$, где h — толщина переливающегося слоя.

Если подушки нет в естественном состоянии, то ниже плотины устраивают стенку, работающую как водослив и обеспечивающую выше водяную подушку требуемой толщины.

Примером может служить водослив плотины La Grange Dam (Калифорния), черт. № 18.

При перепаде в $98' = 29,87$ м. имеем отношение перепада к толщине подушки $\frac{98}{15} = \frac{29,87}{4,57} = \text{около } 6$, что отвечает приведенным выше данным.

Указанные соображения о необходимости устройства водяной подушки при значительных перепадах касаются не только каменных плотин на скалистых грунтах, но и плотин из других материалов.

Приведем примеры каменных водосливных плотин на скалистом грунте.

Плотина Urnäsch (St. Gallen) построена из бетона и имеет высоту над грунтом 3,5 м, погруженная в скалистый грунт на 1,50 м (черт. № 19).

Грунт ниже плотины защищен бетонными массивчиками, ряд коих заканчивается грубо околотыми глыбами.

Черт. № 20 изображает профиль плотины, устроенной на шиферной скале.

Высота плотины — 6,40 м, ширина каменной части — 6,10 м.

Передняя грань вертикальна.

Построена плотина из бетоно-бутовой кладки при составе бетона 1 : 2 : 4.

Тело плотины сопряжено с основанием местами, как показано пунктиром на чертеже, с применением болтов $d = 3,8$ см.

Плотина Holyoke (черт. № 21) выстроена из бутовой кладки с облицовкой из тесовой кладки.

Высота плотины равна $\sim 9,00$ м.

Здесь мы имеем снова гуськообразное очертание, предотвращающее возможность удара падающей воды.

Плотина на р. Колорадо (Austin, Texas) высотой 20,10 м (черт. № 22) при правильном сечении все же не устояла во время паводка, когда толщина переливающегося слоя воды достигла 3,40 м.

При длине плотины 343 м средний участок плотины длиной 150 м вследствие сильного давления воды, проникшей в трещиноватое и недостаточно надежное основание, оторвался и отошел на 20 м вниз по течению, где подвергся дальнейшему разрушению.

Этот случай показал, что не всякий грунт, который носит название скалистого, может быть пригодным для устройства каменной плотины значительной высоты.

В сомнительных случаях необходимо глубоко прорезать естественный грунт искусственным бетонным основанием, прикрепив его анкерами к действительно надежной скале.

Плотина, изображенная на чертеже № 23, имеет высоту 36,00 м. и ширину понизу 27,50 м.

Наличие водяной подушки достаточной толщины гарантирует прочность подошвы основания непосредственно ниже плотины.

Перейдем к каменным водосливным плотинам на мягких грунтах.

Этот класс плотин представляет для нас особенный интерес, ибо высоты таких плотин лежат в пределах до 8—10 м, т.е. наиболее встречающиеся в нашей практике.

При проектировании плотин на мягких грунтах необходимо помнить во-первых все изложенное о гидрологическом и статическом расчете флютбетов, а также в зависимости от принятого очертания гребня плотины (прямое падение воды или перекачивание по гуськообразному очертанию профиля плотины) прибегать к тому или другому устройству водобоя и слива.

В первом случае приходится особенно заботиться о надежном укреплении водобойной части сравнительно на небольшом протяжении, прибегая к устройству водяной подушки, а во втором необходимо сильно удлинять водобойную и сливную части плотины, не придавая им вида слишком солидных конструкций, ибо размывающее действие воды в этом случае не так сильно, как при ударе, но распространяется на большую длину.

Выше было указано, что необходимая длина фильтрационной линии распределяется между понуром, водобоем и шпунтовыми линиями.

Если слив имеет водонепроницаемую конструкцию, то его длину учитывают вместе с водобоем.

В случае очень плотного глинистого грунта, может не встретиться надобности в шпунтовых рядах, ибо при выполненных динамических условиях поперечные размеры флютбета могут оказаться удовлетворяющими и гидрологическим условиям при небольшом коэффициенте c формулы. В этом случае понуром может служить обделанный мостовой участок ложа реки впереди плотины.

В случае галечного грунта забивка деревянных шпунтовых свай невозможна, в силу чего при небольших и средних подборах обходятся вовсе без шпунтов, соответственно устраивая водобой и слив, а при значительных подпорах прибегают к металлическим шпунтовым рядам или железобетонным.

При устройстве последних необходимо стремиться достигнуть тщательной работы, иначе расхождение свай ниже поверхности грунта не приведет к ожидаемым результатам.

Металлические шпунтовые ряды специального типа свай не позволяют последним расходиться, вследствие чего являются предпочтительными при забивке на солидную глубину.

Пример — сваи Lackawana Steel Sheet piling (см. гл. VI).

В случае обычного песчано-глинистого, песчаного или песчано-илистого грунта, шпунтовые ряды устраиваются и при понуре и при водобое.

При этом лучшие шпунтовые ряды получаются при песчано-глинистом грунте, худшие — при крупно-песчаном грунте.

В том и другом случае деревянные шпунтовые ряды допустимы при глубине забивки до 7,50 м—8,50 м. При меньшей глубине забивки устраиваются также бетонные шпоры, играющие роль шпунтовых рядов.

При грунтах слабых, подвижных (мелкий песок, мелкий илистый песок, глинисто-илистый грунт и пр.) приходится прибегать к сваям под основание.

Сваи располагаются по закону, отвечающему эпюре неравномерного сжатия при невыгоднейшем положении нагрузки.

Если длина фильтрационной линии взята с запасом, то *при небольшом подпоре* можно обойтись без свай под основание, *при мелком песке* при надлежаще устроенном водобое и сливе.

Примером может служить Идийская ирригационная плотина Нагога черт. № 24.

Здесь мы видим постепенное утоньшение водобоя согласно формуле
$$t = m \frac{h}{q - 1 \text{ или } q},$$
 ибо по мере увеличения h (потерянный напор) t уменьшается.

Следующий пример — Colerun Weir, (черт. № 25), в которой вместо шпунтовых рядов применены бетонные колодцы: прием, излюбленный в Индийской практике. Грунт — песок. Okhla Weir (Индия, Jumne River) представляет

образец плотины из каменной наброски, расположенной так, чтобы образовать необходимую длину фильтрационной линии. Подпор равен 4 м при скорости течения воды $V_{\max} = 5,50$ м/с. (черт. № 26).

Принцип состоит в следующем (черт. № 27).

Если представить себе ряд бетонных массивов, расположенных, как показано на чертеже, с промежутками между ними, заполненными каменной наброской, то вода, пройдя под первоначальным массивом, выйдет уже под напором $H_1 < H$ и далее, потеряв на прохождение наброски еще ΔH , опять уменьшит свой напор.

Коэффициент $c = 18 - 20$ в формуле $L = c \cdot H$ обеспечивает работу сооружения, построенного по этому типу (черт. № 26).

Другой пример того же типа — Dehri Weir (Sôn River), см. черт. № 28.

Пример плотины на галечно-гравелистом грунте — Granite Reef Weir, Salt River, Arizona (черт. № 29).

При постройке плотины сначала приняли $c = 4,2$ в формуле $L = c \cdot H$, но затем довели «с» до 6, что более отвечает упомянутому грунту.

Высота плотины — 6,10 м.

Очертание профиля водослива плотины — гуськообразное, особенно распространенное в Индии, а также в Америке (Arizona) Черт. №№ 30, 31 и 32 изображают водоподъемные плотины описанных типов.

Увлечение гуськообразным профилем давно остыло в Индии по выяснении эксплуатационных качеств сооружений Гангесского канала, и в Европе также не разделяется.

При постройке плотины Helmer Wehr у Праги были произведены опыты над двумя моделями плотин в $1/20$ нат. величины.

Первая модель имела пологий гуськообразный профиль (черт. № 33), а вторая — почти отвесный водослив с водяной подушкой глубиной 1,20 м, при величине перепада — 4,00 м (черт. № 34).

Второй профиль оказался более надежным и экономичным, ибо в первом случае необходимо было бы укреплять дно реки далеко ниже гребня водослива.

Грунт — дрсва разной твердости, переходящая в скалу.

§ 4. Железобетонные плотины ¹⁾.

Водосливные железобетонные плотины устраиваются двух типов:

- а) в виде шпунтовых стен и
- б) полые железобетонные плотины.

Железобетонные плотины в виде железобетонных стен. При высоте плотин до 1,50 м железобетонная шпунтовая стена не имеет подкосов и плотина состоит из стены и флютбета.

При больших высотах приходится прибегать к подкосным сваям (черт. № 35).

Для защиты поверхности подкоса от ударов воды сваи защищаются досчатым покровом, укрепленным во флютбете плотины: Верх свай дополнительно обделан бетоном, чтобы придать ему прочность и форму водослива.

Железобетонные шпунтовые сваи имеют сечение 25×40 см. Упорные сваи, расставленные на расстоянии 2,40 м, имеют сечение 30×30 см.

¹⁾ См. часть I конспекта, гл. IV, § 1, железобетонные плотины, где имеется ряд сведений, не помещенных во II части конспекта.

Полые железобетонные плотины. Сведения о степени распространения рассматриваемого типа приведены были в части I, глава IV, § 1.

Водосливная часть железобетонных вододержательных плотин ничем не отличается от водоподъемных водосливных плотин.

Но в главе IV § 1 часть I мы рассматривали плотины исключительно на скалистых грунтах, на коих строятся каменные и железобетонные вододержательные плотины.

Водобойная часть при значительном подпоре требует устройства водяной подушки, как требуют этого и каменные водосливы.

Черт. 36 изображает в аксонометрии полую железобетонную плотину (см. № 70 I части).

Правильный выбор угла наклона напорной грани играет большую роль в распределении напряжений в теле подошвы плотины (см. § 1 главы IV, часть I).

Определим вычислениями величину этого угла α в зависимости от высоты плотины p и толщины переливающегося слоя h_0 (черт. № 37).

Горизонтальное давление воды на плотину назовем W_2 , вертикальное давление воды на переднюю грань назовем W_1 . На 1 пог. метр длины сооружения, при весе 1 куб. метра воды — γ , имеем:

$$W_2 = \frac{p^2 + 2 p h_0}{2} \cdot \gamma \quad \text{в тоннах}$$

$$W_1 = \frac{p^2 + 2 p h_0}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \gamma \quad \text{в тоннах.}$$

Чем меньше α , тем больше величина W_1 . Силы W_1 и W_2 пересекаются в точке Р и заменяются равнодействующей R при расстоянии «а» точки Р от подошвы, при чем

$$a = \frac{p(p + 3 h_0)}{3(p + 2 h_0)}.$$

Величина силы R определяется площадью эпюры АЕНІ где $HE = h_0$ и $AI = p + h_0$

$$R = \frac{p^2 + 2 p \cdot h_0}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot \gamma \quad \text{в тоннах.}$$

Сила R пересекает подошву в точке L, положение коей определяется величиной

$$AL = e = \frac{a}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{p}{3 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}.$$

При проектировании необходимо достигнуть того, чтобы точка L была внутри средней трети и никак не выходила бы правее K_2 , границы крайней трети сечения контрфорса.

Низовая грань контрфорса плотины колеблется в практике между отвесным положением и \perp к напорной грани.

Теперь посмотрим, какая величина α является наиболее целесообразной в каждом из упомянутых случаев:

1. При вертикальном положении задней грани ширина контрфорса понизу равна

$$AM_1 = b_1 = p \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

2. Во втором случае

$$AM_2 = b_2 = \frac{AE}{\cos \alpha} = \frac{p}{\sin \alpha \cos \alpha}.$$

Разберем первый случай:

$$\frac{AL}{AM_1} = \frac{e}{b_1} = \frac{1}{3 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}.$$

при чем

$$e_{\max} = \frac{2}{3} h_1.$$

При

$$e_{\max} = \frac{2}{3} \cdot b_1,$$

имеем:

$$\frac{1}{3 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0} = \frac{2}{3}.$$

и отсюда

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}}.$$

При различных значениях величин $\frac{h_0}{p}$ имеем соответственные значения:

$$\frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0} \text{ и } \alpha:$$

$\frac{h_0}{p}$	$\frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}$	α
0	1	45°
1	$\frac{11}{10}$	42°8'
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{6}$	40°12'
$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{4}$	37°46'
$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{3}$	35°16'
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	30°

Из этой таблицы видно, что при совпадении точки L с точкой K₂ или при положении, близком к этому, угол α лежит между 45° и 30°, при чем α тем меньше, чем больше h_0 .

Так как, вообще говоря, h_0 редко достигает величины $\frac{p}{2}$, то значение α лежит чаще всего между 38° и 45°.

Таким образом угол α может быть взят из уравнения

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}},$$

при чем для h_0 надо брать максимально большое значение, какое h_0 может иметь.

Придание задней грани контрфорса более полого наклона вызовет, естественно, удорожание плотины.

Второй случай:

$$EM_2 \text{ — } AE.$$

В этом случае

$$\frac{AL}{AM_2} = \frac{e}{b_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}.$$

В это выражение угол α вовсе не входит. Значение $\frac{e}{b_2}$ зависит лишь от соотношения h_0 и p .

Для каждого определенного значения $\frac{h_0}{p}$ получаем значение величины $\frac{e}{b_2}$ независимое от угла наклона.

$\frac{h_0}{p}$	$\frac{e}{b_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}$
0	$\frac{1}{3} = 0,333$
$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{30} = 0,367$
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{18} = 0,389$
$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{12} = 0,417$
1	$\frac{4}{9} = 0,444$
∞	$\frac{1}{2} = 0,500$

Равнодействующая всех сил проходит при этом внутри средней трети подошвы контрфорса, и в предельном положении проходит через точку K_1 , когда h_0 близко к нулю.

При возрастании h_0 точка L перемещается к середине (в сторону внутренней трети).

И во втором случае угол α целесообразнее всего брать в пределах от 40° до 45° , как показала практика возведения плотин в Америке.

Следовательно, те же выводы надо применять и ко всем промежуточным положениям.

Контрфорсы располагаются на расстоянии от 1,50 до 6,00 м. Толщина их увеличивается сверху вниз от 0,20 до 1,00 м и выше. При малых высотах арматура слабее, ибо контрфорсы по конструктивным соображениям делаются толще, чем этого требует расчет. Во избежание перекашивания от продольного изгиба контрфорсы связываются между собой балками или плитами.

Для контрфорсов берут бетон состава 1 : 3 : 6 при допуске напряжений бетона на сжатие 20—25 кг/см².

Для лучшего сопряжения со скалистым грунтом контрфорс опускается ниже подошвы и прикрепляется к скале анкерами.

При мягком грунте применяется горизонтальная плита, снабженная шпорами, особенно с напорной стороны, устраиваются шпунтовые ряды и пр. во всем согласно общим принципам устройства флютбетов на мягких грунтах.

Во избежание давления на плиту снизу (под напором воды) устраиваются в плите отверстия, пропускающие профильтровавшую воду внутрь плотины.

Напорная плита делается из бетона состава 1 : 2 : 4 из лучшего портланд-цемента и прочих материалов лучшего качества.

При этом напряжения в американской практике допускаются для бетона на сжатие в 35 кг/см^2 и для железа 1000 кг/см^2 .

В верхней части плита закругляется, чтобы иметь форму водослива, и утолщается при этом в виду необходимости выдерживать удары плавающих тел.

Внизу плита в случае скалистого грунта опускается вместе с контрфорсом для лучшего сопряжения со скалой; в случае мягкого грунта плита опускается вниз ниже горизонтальной плиты, в виде шпоры, для уменьшения фильтрации воды под плотиной, с применением иногда шпунтового ряда в зависимости от грунта и подпора.

Старейшая железобетонная плотина выстроена в 1903 году в штате New-York.

Высота плотины 3,40 м (черт. № 38).

Грунт скалистый.

Толщина контрфорса—30,0 см, расстояние между контрфорсами— 83 м и толщина плиты — 15 см.

Состав бетона плиты — 1 : 2 : 4 и контрфорса — 1 : 3 : 6.

Контрфорс связан со скалой анкерами длиной 90 см и толщиной 3 см.

Погонный метр плотины потребовал 2,6 куб. метра бетона, вся плотина сделана в 18 дней (длина 36,6 м).

В том же штате имеется плотина на р. Hudson закрытого типа, т.-е. с низовой стороны мы имеем здесь также плиту (черт. № 39).

Плотина выстроена на шиферной скале.

Плита с напорной стороны переходит в шпору глубиной 0,90 м (толщина 38 см в плитовой части). Ширина водослива равна 86,25 м.

Контрфорсы расставлены друг от друга на расстоянии 2,40 м.

Их толщина меняется по высоте ступенями от $30\frac{1}{2}$ до 38 см и $45\frac{1}{2}$ см.

В виду тяжелых условий прохода льда, гребень утолщен до 0,60 м при толщине задней плиты 20,5 см.

Последняя оканчивается внизу утолщенной частью, снабженной отверстиями, соединяющими нижний бьеф с внутренней камерой плотины.

Задняя грань снабжена вверху отверстиями для пропуска воздуха во избежание вибрации плотины.

На высоте 4,90 м над грунтом идет сквозь плотину с берега до берега пешеходный мост, вследствие чего над водосливом такового не понадобилось.

Сквозь контрфорсы пропущены балки, сообщающие контрфорсам жесткость в поперечном направлении.

Прилагаемые чертежи №№ 40 — 49 изображают сечения полых железобетонных плотин, выстроенных в Америке.

§ 5. Металлические плотины.

Металлические водосливные плотины не получили широкого распространения.

Имеется несколько небольших плотин в Южной Африке, а также: выстроено несколько плотин большей высоты в Сев. Америке.

Американские плотины состоят из стоек, расставленных чрез 2—3 м друг от друга, и обшивки с каждой стороны толщиной 1 см (с напорной стороны).

Металлические части установлены на бетонном основании, крепко связанном со скалой анкерами.

В 1908 году разрушилась одна из железных плотин, выстроенных на непрочном основании. При возобновлении этой плотины предусматривается бетонная конструкция.

Металлические плотины имеют ряд недостатков, препятствующих их широкому распространению.

Первый недостаток — дороговизна установки готовых металлических частей; второй недостаток — весьма значительные эксплуатационные расходы; третий недостаток — затруднительность устройства долговечного водонепроницаемого соединения при сопряжении металлических частей с основанием.

Черт. № 50 изображает плотину высотой 5,00 м при максимальной толщине переливающегося слоя в 3,00 м. Обшивка с напорной стороны сделана из железа толщиной 1 см.

Давление воды от обшивки передается на горизонтальные двутавровые балки, передающие давление на металлические фермы, расположенные на расстоянии 3,00 м одна от другой.

Вес металлических частей плотины равен 800 кг на погонный метр сооружения.

Стоимость получилась несколько выше таковой для каменной плотины.

Только в одном случае железная плотина была бы предпочтительна: при дорогом цементе и дешевом железе.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Разборчатые плотины.

Раздел I. Введение. Возникновение разборчатых плотин, их развитие и главные типы. Принятая классификация.

К разборчатым плотинам принадлежат в широком смысле слова всевозможные подвижные сооружения, предвазначенные для временного создания подпора в водотоках.

Только что рассмотренные нами глухие плотины имеют большое неудобство, заключающееся в том, что создаваемый подпор, необходимый при низком стоянии воды, может оказаться излишним или даже вредным при высоком стоянии воды.

Кроме того, происходит постоянное повышение дна реки выше глухой плотины и создаются стесненные условия для ледохода на реках, подверженных замерзанию.

При наличии разборчатой плотины, составляющей хотя бы часть общей длины глухой плотины, имеется уже возможность регулировать горизонт воды между двумя крайними положениями.

Кроме того, создается возможность пропуска сквозь глухую плотину донных наносов чрез отверстие с повышенным порогом — донный спуск, — спуска льда и других плавающих тел чрез отверстия с повышенным порогом

и прохода чрез плотину плотов и судов чрез плотоходные и судоходные отверстия.

Наличие глухого участка в общей длине плотины является часто желательным, способствуя выигрышу времени для разводки разборчатой плотины. Особенное значение имеют разборчатые плотины, освобождающие все сечение реки от берега к берегу до самого ложа реки.

С течением времени целый ряд различных типов разборчатых плотин нашел себе применение в области использования водной энергии, шлюзования рек, регулирования расхода воды из естественных озер и искусственных водохранилищ, равно и в области орошения угодий.

При этом только часть предложенных остроумных проектов приведена в осуществление и до сих пор много предложенных типов плотин не нашло еще себе применения в практике.

В прошлое время единственным известным типом разборчатых плотин являлась плотина с шандорными или щитовыми затворами, закрывающими отверстия в плотинах, построенных для использования водной энергии. Отверстия открывались на несудоходных реках лишь во время сравнительно высокого стояния воды, отчасти с целью отвести ненужную для мельниц воду, отчасти для увеличения пропускной способности плотины, в силу закрытия лотка, ведущего к мельничному колесу.

Для закрытия таких отверстий пользовались досками, брусьями или деревянными щитами, которые опирались на постоянные или съемные опоры — козлы, быки, стойки. Более значительные отверстия при небольших подпорах закрывались брусьями (так называемыми, «шандорами»), укладываемыми друг на друга и образующими сплошную стену, опирающуюся на края опор.

Вместо шандоров применялись также вертикально поставленные одна рядом с другой деревянные спицы, упирающиеся нижним концом в солидный порог (фахбаум) и верхним — в балку, перекрывающую отверстие (красный брус). Такие плотины возводились с многочисленными изменениями и ныне они употребительны на небольших реках при устройстве мельниц.

С течением времени, размеры щитов возрастали и управление ими стало производиться усовершенствованными механизмами.

Толчком послужило использование водных сил рек бассейна Средиземного моря.

Применение больших щитов распространялось с успехом в тех случаях, когда приходилось иметь дело с регулированием больших расходов, а именно в области осушительных наносных установок, судоходных устройств и регулирования морского отлива.

Однако переход от шандоров и щитов, перекрывающих незначительные отверстия, к затворам для перекрытия больших пролетов, связан был с отходом от деревянных конструкций и применением железа для устройства затворов. Сначала употреблялось сварочное железо, затем — почти исключительно прокатное железо (литое) с клепанными узлами, а в последнее время подвижные части разборчатых плотин начали уже строить из никкелевой стали и неподвижные — из литой стали.

В настоящее время применяются щиты пролетом до 30,00 м, а при меньших пролетах — глубиной до 16,00 м.

Усовершенствование других видов разборчатых плотин и использование новых способов управления ими привели к возможности закрывать

отверстия свыше 50,00 м одним цельным затвором при чрезвычайно удобном маневрировании им. Судходство испытывало огромные затруднения при проходе судов чрез отверстия плотин, ибо если спуск по течению реки оказывался сносным, то уже подъем вверх требовал громадного тягового усилия.

Лишь в 1834 году французскому инженеру Поаре удалось применить конструкцию, позволяющую освободить русло реки почти по всей его ширине. Закрывание плотины происходило при помощи деревянных спиц квадратного сечения, поставленных одна рядом с другой.

Такие спицы применялись и ранее для закрытия отдельных отверстий плотин.

Новизна предложения Поаре заключалась в применении съемного служебного мостика, о который опирается спицевая стена.

В первой такой плотине, построенной в 1834 году на Верхней Ионне около Васвилля, служебный мостик состоял из большого числа фермочек из сварочного железа, поставленных на взаимном расстоянии всего лишь в один метр, из коих каждая может поворачиваться вокруг горизонтальной оси, представляющей собой горизонтальный стержень, вращающийся в гнезде, хорошо прикрепленном к флютбету плотины.

Все фермочки укладываются в углубление флютбета и в поднятом состоянии соединяются с соседними при помощи легких продольных балочек.

На верхний пояс фермочек укладывается настил мостика.

Спицы устанавливались и вынимались с этого мостика, разборка же самого мостика производилась постепенно от одной фермочки к другой.

Такое устройство оправдало себя и с той поры широко применяется до настоящего времени.

После многих усовершенствований, имевших в виду облегчение манипулирования спицами, а также увеличение напора, спицевые плотины достигли такого совершенства, что даже в современных условиях они нередко стоят на первом месте, когда речь идет о постройке плотин на судоходных реках.

Усовершенствование спицевых плотин заключалось сначала в применении тавровых балок и швеллеров для постройки ферм.

Затем начали делать съемными продольные балки служебного мостика, на которые опираются спицы, чтобы иметь возможность немедленно открывать целый пролет плотины при быстром подъеме воды.

Следующее усовершенствование — замена досчатого настила служебного мостика железными листами, скрепляемыми болтами на фермочках.

Дальнейшие усовершенствования клонились к тому, чтобы распространить применение плотин Поаре и на случай солидных подпор.

Первая спицевая плотина Поаре была выстроена при глубине воды верхнего бьефа над порогом флютбета в 2,00 м. К 1874 году уже было достигнуто применение той же конструкции при глубине 3,10 м (р. Сена).

При глубине воды в 4,75 м (р. Сена) спицы оказались слишком тяжелыми.

Поэтому вместо них начали применять горизонтальные шандоры, укладываемые друг на друга, а также простые доски шириной в 0,30 м, которые можно было поднимать и опускать при помощи крючьев, не устраивая особого подъемника.

Связывая по несколько досок вместе, пришли к устройству затворов, состоящих из нескольких щитов, расположенных один над другим, поднимаемых и опускаемых при помощи подъемника со служебного мостика.

В начале 1880 года в Сюрен уже применялись щиты системы Буле при подпоре в 3,60 м.

В дальнейшем удалось применить устройство, позволяющее открывать отверстие без удаления спиц путем вращения их около верхней опорной точки.

При постройке плотин на Эльбе, Молдаве, а также на американских реках (Биг-Сенди, Грейт-Каноа, Охайо и др.) применены были передвижные подъемники и плавающие краны для одновременной установки и одновременного удаления нескольких спиц необычайно-большого размера и значительного веса.

При этом путем применения особых устройств удалось довести расстояние между фермами до 3,00 м и даже до 6,00 м, что уже превосходило высоту этих ферм.

Невзирая на все усовершенствования плотины Поаре, все же не удалось устранить некоторых недостатков, присущих этой конструкции.

Поэтому продолжались попытки изобрести совершенно новые конструкции разборчатых плотин, лишенные упомянутых недостатков.

Появились самодействующие плотины, затворы, имеющие вращательное движение и пр. и пр.

Всеобщий конкурс на конструкции разборчатых речных плотин, объявленный в 1906 году в Австро-Венгрии, дал весьма значительное количество разнообразнейших конструкций, из коих лишь небольшая часть получила осуществление.

Следующий тип — складывающиеся плотины, состоящие из ряда поставленных друг подле друга щитов, вращающихся вокруг оси и опрокидываемых, складываемых или устанавливаемых ручными подъемниками или давлением воды.

Складывающиеся затворы были известны еще в XVIII столетии, но они служили тогда лишь для временного увеличения напора глухих водосливных плотин.

Усовершенствование конструкции было введено впервые в 1829 году Тенаром на реке Иль и заключалось в том, что подкосы, поддерживающие щиты, были соединены у их нижнего конца стержнем.

Если тянуть с берега за этот стержень, то подкосы соскальзывают со своих опор, и щиты складываются на гребне плотины.

Установка щитов производилась рабочими с низовой стороны плотины, ибо вспомогательные щиты, имеющиеся выше основных (по течению), поднимаются силой давления воды и осушали нижнюю по течению поверхность флютбета.

Плотина не была предназначена для закрывания судоходных отверстий в силу слишком высокого расположения гребня водослива и слишком малого напора.

Лишь в 1850 году Шаноан построил в верхнем течении Сены плотину с такими же щитами высотой 2,15 м. В силу низкого расположения порога плотина могла служить для прохода судов при уложенных щитах.

Дальнейшие усовершенствования привели к устройству щитов на горизонтальной оси вращения, складывающихся на флютбете.

Установка щитов производилась с лодки.

Последнее оказалось мало удобным, в силу чего в дальнейшем устраивался вспомогательный мостик из ферм Поаре без спиц.

На мостике работала ручная лебедка.

Это внесло некоторое улучшение в конструкцик.

Все же в таком виде плотина редко могла конкурировать с плотинами Поаре из-за неудобства управления щитами.

Позднее регулирование уровня воды облегчено применением особого небольшого затвора.

Этот затвор помещается в верхней части щита и открывается самостоятельно при повышении уровня воды, в силу чего оказалось возможным понижать уровень, не складывая щитов.

Одновременно происходили попытки сконструировать такую плотину, которая могла бы открываться и закрываться под давлением воды.

В 1819 году в Сев. Америке по этому принципу был построен затвор водоподъемной плотины на реке Лехай.

Этот затвор состоит из двух *щитов*, вращающихся вокруг горизонтальных осей, закрепленных во *флютбете* и *подпирающих* друг друга при закрытом состоянии затвора.

Пока пространство между щитами сообщается с верхним бьефом, щиты будут держаться в поднятом положении, при выпуске же воды они складываются на флютбете.

В 1846 году Дефонтен эскизно разработал конструкцию барабанных затворов, получивших значительное распространение в шестидесятих годах на р. Марне.

Щит прикрепляется (в данном случае почти на половине своей высоты) к горизонтальной оси, при чем нижняя часть щита движется в пространстве, представляющем собой четверть цилиндра. Если это пространство соединено с верхним бьефом, то давление воды на нижнюю часть щита больше, нежели на верхнюю, и затвор удерживается в закрытом состоянии.

При разобщении пространства с верхним бьефом и отводе воды, затвор закрывается.

Первый усовершенствованный барабанный затвор значительного пролета был построен Мором на реке Шпрее у Берлина лишь в 1884 году.

Затвор служил для закрытия плотоходного отверстия шириной в 10,00 м. Управление щитом происходило с одного из устоев перестановкой рычага, соединенного железными штангами с клапаном, регулирующим впуск воды в камеру и выпуск ее.

В Северной Америке затворы, работающие по описанному принципу, получили впоследствии значительное распространение и усовершенствование.

В тех случаях, когда постройка плотины связывается с постройкой моста, вызываемой потребностями транспорта, устраиваются, так называемые, *мостовые* плотины. Такие плотины стоят весьма дорого, но отличаются особенной надежностью конструкций. Мостовую конструкцию используют при этом для прикрепления металлических стоек, перекрываемых щитами. Посредством цепей и подъемников, по удалении перекрывающих щитов, стойки могут быть подняты выше уровня воды.

Из всех предложенных в позднейшее время новых типов разборчатых плотин, наибольшее развитие и распространение получили вальцовые (цилиндрические) плотины.

Широкие круги интересующихся плотиностроением впервые ознакомились с этой конструкцией в 1902 году на докладе, сообщенном на Международном Судоходном конгрессе в Дюссельдорфе, где демонстрировалась изготовленная модель цилиндрической плотины.

Еще раньше (1900—1901 гг.) такая плотина была построена в Швейнфурте на одном из рукавов Майна.

В заключение нельзя не указать на последние из главнейших типов разборчатых плотин—секторный затвор и сегментный.

В первоначальном своем виде сегментный затвор строился из дерева; в таком виде конструкция прижилась в Америке (система Тейнтора).

Впоследствии в Америке этот затвор приготавливали также из металла (литое железо).

В 1910—11 гг. на реке Везере выше Бремена построена секторная плотина с затвором величайшего пролета: 54,00 м при высоте затвора 4,60 м.

На этом закончим краткий обзор разборчатых плотин.

Требования, предъявляемые к плотинам, зависят от назначения плотины, а нередко и от местных условий.

В зависимости от тех или иных особенностей реки, эти требования в большей или меньшей мере выполняются тем или другим типом плотины.

Все же можно формулировать наиболее важные требования:

1. Закрытая плотина должна быть как можно более водонепроницаема во всех частях сооружения.
2. Подвижные части плотины должны давать возможность держать воду на постоянном уровне при всяких колебаниях расхода воды в реке и при минимальной притом затрате механической энергии.

На случай порчи механизма необходимо иметь ручной привод.

3. Открытая плотина должна давать свободный проход паводкам, наносам, льду, плавающим предметам, а на судоходных и сплавных реках также судам и плотам.
4. Открывание и закрывание отверстий плотины должно происходить с наименьшей затратой времени и энергии и без всякой опасности для рабочих, при всяком мыслимом состоянии реки, во всякое время и при всяких условиях, чему не должны мешать ни паводки, ни наносы, ни лед, ни плавающие бревна, ни ветер, ни пыль, ни иные атмосферные условия.
5. Все подвижные части плотины, а также неподвижные, но подверженные действию атмосферы, должны быть доступны для осмотра, покраски и мелкого ремонта при всяком состоянии плотины. Замена частей запасными должна с легкостью производиться при благоприятном состоянии реки.
6. Строительная стоимость и эксплуатационные расходы должны оставаться в рациональном отношении к выгоде, достигаемой устройством плотины.

Резолюция XI Международного Судоходного конгресса в Ленинграде в 1908 г., посвященная требованиям, предъявляемым к плотинам, устраиваемым на реках с сильным колебанием уровня и подверженных сильному ледоходу, гласит следующее:

1. Необходимо иметь возможность быстро и точно регулировать подпорный горизонт, помещая устройства для подъема затворов на глухих частях плотины.
2. Важно иметь возможность открывать плотину по всей длине в кратчайшее время.
3. Желательно иметь возможность извлекать из воды все подвижные части плотины.

4. Плотины со щитами и съёмными стойками оправдали себя, равно как и вальцовые.

Последние имеют преимущество, пропуская известное количество льда без нежелательного понижения горизонта воды.

5. Выбор системы разборчатой плотины зависит от гидравлических особенностей реки.
6. Глухие водосливные плотины рекомендуются на широких реках, подверженных сильному ледоходу, когда нет необходимости в точности удерживать горизонт верхнего бьефа на одном и том же уровне.
7. Недостаток глухих плотин, не дающих возможность регулирования подпорного горизонта, можно в известных случаях корректировать, делая верхнюю часть плотины разборчатой или устраивая разборчатую плотину рядом с глухой.
8. К проекту плотины должны быть приложены наблюдения над морозным периодом и прохождением ледяных масс в реке. Знание потребного сопротивления ударам льда представляется необходимым¹⁾.

Технические достоинства плотины оцениваются в зависимости от той степени совершенства, с какой удовлетворяет данный тип плотины поставленным требованиям.

К настоящему времени накопилось множество интересных и остроумных конструкций новых типов разборчатых плотин. Но если в отношении гидротехнических сооружений вообще уместно замечание, что какими бы тщательными выкладками ни была доказана целесообразность конструкции, все же ее нельзя заранее признать удачной, пока она не оправдала себя на практике, то в отношении разборчатых плотин это замечание особенно уместно.

Только опыт работы фактически выстроенной плотины дает возможность установить пригодность или непригодность типа к дальнейшему применению.

Опыт показал, что проекты видоизмененных типов существующих удачных конструкций разборчатых плотин, составленные опытными конструкторами, при осуществлении их могут привести к самым неожиданным неблагоприятным результатам.

При рассмотрении вопроса о конструкции разборчатых плотин разделим их на 3 группы:

В первую группу отнесем типы разборчатых плотин, характеризующиеся *постоянными опорными частями затворов*.

Во вторую группу относим типы разборчатых плотин, характеризующиеся применением *съёмных промежуточных опор*.

К третьей группе отнесем разборчатые плотины, *работающие при действии силы подпора воды*.

При такой классификации можно легче достигнуть большей ясности изложения и быстроты усвоения вопроса в целом и частностях.

Раздел II. Разборчатые плотины с постоянными опорами затворов.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин²⁾.

При расчете отверстий рассматриваемых плотин, кроме указанных выше формул, могут понадобиться также другие формулы в виду специальных условий пропуска воды в данном случае.

¹⁾ См. часть I, глава III конспекта.

²⁾ Обозначения § 1, гл. II.

При пропуске воды через *открытые* щитовые отверстия берем $m = 0,40$ вместо 0,45 в формуле:

$$Q = mb \cdot \sqrt{2g} \left(H + \frac{u_0^2}{2g} \right)^{3/2}$$

в случае $Z > 0,7$ р при затопленном водосливе.

В случае $Z < 0,7$ р коэффициент $m = 0,32 - 0,35$. Вид формулы остается прежний

$$Q = mb \cdot \sqrt{2g} \left(H + \frac{u_0^2}{2g} \right)^{3/2}$$

(см. § 1 главы II).

При $b > (3 - 4) H$ довольно точно учитываем боковое сжатие, применяя в формуле для Q вместо $b \rightarrow b - 0,2H$.

При водосливе с толстой стенкой, т.-е. при $H < 2c$

$$m_1 = m_0 \left(0,70 + 0,185 \frac{H}{c} \right),$$

где m_0 — коэффициент для водослива с тонкой стенкой.

Расход через донный спуск (так называется отверстие плотины с пониженным порогом, расположенным на уровне дна реки) определяется по формуле

$$Q_{\text{пог. метр}}^{\text{куб. метр}} = h_2 \cdot \varphi \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(Z + \frac{u_0^2}{2g} \right) \text{ при } h_2 > 0,7H;$$

$\varphi = 0,9$ при закругленных краях входного отверстия (черт. № 8'). При $h_2 < 0,7H$ имеем первый случай определения расхода через водослив с широким порогом, когда подпор влияния на истечение не оказывает и $m \approx 0,40$.

Оперируя приведенными формулами и зная горизонты верхнего и нижнего бьефа, определим необходимые отверстия в плотине и наоборот, наметив ряд отверстий, определим положение горизонта верхнего бьефа при заданных расходах реки.

Если река заливает плотину в высокие воды, то наибольшее стеснение русла реки находим, когда вода устанавливается на уровне площадок устоев и быков плотины.

Произведя гидравлический расчет для этого случая, находим скорость течения воды и % стеснения реки устройством плотины.

На судоходных реках стремятся к минимальному стеснению реки (не больше 20 — 25%), принимая предельную скорость течения реки $V = 1,80$ м в секунду, чтобы не создавать чрезмерно тяжелых условий для судоходства.

§ 2. Плотины с шандорными затворами.

Шандорные затворы применяются при закрытии умеренной длины пролетов при умеренных подпорах или при больших подпорах и малых пролетах; они служат только для закрытия отдельных отверстий плотины.

В качестве самостоятельных плотин шандорные плотины применимы в общем лишь тогда, когда последние остаются в закрытом состоянии в течение более или менее продолжительного времени.

Наиболее употребительные шандоры показаны на черт. №№ 51, 52 и 53 и состоят из деревянных брусьев, укладываемых горизонтально друг на друга и образующих таким образом затвор

Чаще всего в устоях или быках устраивают пазы или выступы, куда закладываются шандоры (черт. №№ 54 и 55).

Шандоры особенно часто применяются, как вспомогательные затворы, под защитой коих происходит ремонт частей сооружений: шлюзных ворот, затворов водопроводных галлерей, основных затворов плотины, в турбинных камерах и т. п., вследствие чего шандоры устраиваются с обеих сторон ремонтируемой конструкции.

Самый нижний шандор плотно лежит на пороге, фехбауме или массивном флютбете плотины. Устраивать в последних углубления нецелесообразно, так как они заносятся песком, затрудняя укладывание и удаление шандоров.

Для опускания или вынимания шандоров служат крючья или цепи, закрепляемые за крюки, кольца или болты, имеющиеся у концов каждого шандора.

Таковые укрепляются в вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести шандора.

Для крюков устраиваются врубки, так как крюки выступают над поверхностью шандоров (черт. № 51).

Более целесообразными являются кольца, показанные на черт. № 52.

Выступая за поверхность шандорной стенки, они дают себя легко захватить и, поворачиваясь на шарнире, приходят в вертикальное положение.

Черт. № 53а изображает шандор, применяемый на глубинах до 8 м (по словам С. Дейча).

Если в плотине имеется всего лишь одно отверстие, то укладка и удаление шандоров обычно не представляет затруднений, так как напор возрастает или понижается постепенно и укладываемый или вынимаемый брус не подвергается большому напору воды.

При таких условиях шандорами можно закрывать отверстия с довольно большими пролетами, применяя подъемники.

При значительной длине шандоров подъемник устанавливается на берегу, как показано на черт. № 56, причем к шандорам прикрепляются цепи, проходящие по шкивам и наматываемые на барабан подъемника.

При наличии подъемника обычной конструкции два человека могут вынимать шандоры длиной в 4,50 м квадратного сечения 18 см \times 18 см при подпоре в 2,00 м.

При поднятии шандора длиной 8,00 м и сечением 30 см \times 30 см при подпоре до 2,50 м в практике применяют подъемники с двигателем в 8—10 HP.

Если в плотине имеется несколько пролетов, перекрытых шандорами, то управление плотинной становится затруднительным, а при внезапных паводках затворы могут быть затоплены.

В этом последнем случае на отдельных пролетах прибегают к приспособлениям, позволяющим автоматически удалять все шандоры, лежащие один на другом.

С этой целью шандоры укладываются, как показано на чертеже № 57 и упираются одним концом в вертикальный опорный брус, по устранении которого они уплывают по течению.

При таком устройстве пазы должны быть расширены.

Опорный брус устанавливается в углублении, проделанном во флютбете и закрепляется у верхнего конца планкой, приводимой в движение при помощи кривошипа и зубчатой передачи.

Как только планка окажется вытянутой, опорный брус выпадает и освобождает шандоры, которые заранее прикрепляются к цепям, ибо затем они уносятся по течению.

На горных потоках с крупными наносами применяются в качестве шандоров прокатные балки: двутавровые, швеллера и пр.

В связи с применением больших железных щитов системы Стоней, нашли также применение шандорные затворы рыбовидной формы, склепанные из железа.

Имеются примеры перекрытия такими шандорами пролетов до 18 м (установка Аугст Вилен).

Каждый конец затвора снабжен двумя роликами (один из них нерабочий).

В данном случае шандоры являются запасными затворами при основных щитовых затворах системы Стоней.

§ 3. Плотины со спицевыми затворами.

Плотины со спицевыми затворами получили сильное распространение на судоходных реках при съемных опорах затворов, т.-е. при фермах Поаре (см. ниже).

Применение спицевых плотин при постоянных опорах затворов может иметь место там, где не требуется применения водонепроницаемого затвора, но где необходим быстрый пропуск паводка.

Пример—железо-бетонная спицевая плотина на р. Ронко (Италия, близ Равенны)

Черт. №№ 58 и 59 изображают продольный и поперечный разрезы плотины, а черт. № 60—план берегового участка плотины.

Все постоянные части плотины сделаны из железо-бетона.

Полное отверстие плотины равно 50,70 м и разделено 16-ю опорами толщиной 0,30 м на 17 пролетов шириной в свету 2,70 м.

Ширина опоры-фермы равна 2,95 понизу и 2,00 м поверху.

Конструкция устоя плотины видна из чертежа.

Между передними стойками фермы забит шпунтовый ряд на глубину 5,00 м, при чем под стойками сваи имеют глубину 7,00 м.

Эти длинные сваи расположены таким образом в 3,00 м центр от центра.

Спицы опираются вниз в железо-бетонный прогон.

Река отличается внезапно наступающими паводками, требующими немедленного пропуска чрез плотину.

В силу этого спицы должны быстро открывать отверстие, что достигнуто изменением крючков, изображенных на черт. №№ 61 и 62 и позволяющих, подняв спицу, отгибать ее в сторону течения. В случае надобности весь пролет может быть сразу открыт благодаря удалению верхнего прогона (плотину Поаре).

При этом спицы связываются между собой цепью, что бы не уплыли (черт. № 63).

§ 4. Плотины со щитовыми затворами.

Плотины со щитовыми затворами представляют собой простейший тип разборчатой плотины с постоянными опорами затворов, неудовлетворительность которого побудила изыскивать новые и новые конструкции разборчатых плотин, позволяющих открывать отверстие плотины быстро и не оставляя неподпорным горизонтом никакой преграды для прохода судов.

Если река не судоходна, то второе обстоятельство отпадает и остается первое — необходимость своевременного открытия щитов, поднимающихся на высоту, достаточную для прохода самых высоких вод, или удаляемых на берег по открытии отверстия плотины.

Щитовые затворы более водонепроницаемы, нежели спицевые, но не могут так быстро открыть пролет плотины, как спицы. Следовательно при внезапно наступающих паводках этот тип плотины не годится и для несудоходных рек.

При паводках, медленно наступающих, щитовая плотина целесообразна при использовании водяной силы реки, при отводе воды для орошения угодий.

Щитовые затворы в простейшем виде представляют собой скользящие в пазах опор (бычков) щиты, сколоченные из досок, соединенных в четверть и снабженных арматурой, дополнительно скрепляющей доски и образующей ушко для захвата и подъема щита.

В таком виде щиты применяются в деревянных плотинах русского типа (см. ниже). Для облегчения управления щитами и удаления наносов, накаплиющихся на пороге плотины, щиты располагают в 2 яруса.

Тогда нижний щит приподнимается для промывания порога, а верхний для пропуска плавающих тел и излишней воды.

Имеются примеры и трехъярусного расположения щитов.

Такое устройство весьма облегчает маневрирование щитами, передвигающимися в пазах один независимо от другого.

Особенно широкое распространение получили щитовые затворы на небольших оросительных каналах, где они применяются благодаря простоте конструкции и небольшим размерам щитов, допускающих легкое управление ими.

Целесообразно применение щитовых затворов на подводящих каналах при гидростанциях, при чем стойками могли-бы служить постоянно-закрепленные фермы наподобие ферм Поаре.

Черт. №№ 64 и 65 изображают щитовые затворы скользящего типа.

Для уменьшения веса щитов устраивают остов из деревянных брусьев и обшивают его досками. Брусья располагают внизу чаще, нежели сверху в соответствии с эпюрой нагрузки (см. черт. №№ 66 и 67).

Иногда пролет плотины перекрывается скользящим в пазах щитом, который по высоте занимает только часть отверстия, а остальная часть закрывается шандорами.

Такая мера целесообразна, если обыкновенно пролет открыт, а в ожидании паводка он закрывается сначала щитом, а затем шандорами (см. чертеж № 68).

Черт. № 69 изображает ярусное расположение щитов, представляющее большие преимущества.

Во-первых, уменьшается усилие для подъема щита, а во-вторых, по желанию можно пропускать донную воду, удаляющую наносы при закрытом верхнем щите, или верхнюю воду с различными плавающими телами.

На данной схеме каждый щит имеет свои пазы и приводится в движение независимо от прочих двух.

При ярусном расположении щитов иногда применяют следующее устройство, изображенное на чертеже № 70.

Сначала тянут вверх нижний щит. Верхний щит остается неподвижным до тех пор, пока нижнее полотно не поднимется вровень с верхним.

При дальнейшем движении нижнего щита вверх, он неизбежно захватывает при движении и верхний щит, ибо сцепляется с ним специально устроенным крюком.

Ярусное расположение щитов позволяет перекрывать значительные пролеты при небольшом усилии при подъеме.

Так, при пролете в 4,00 м и подпоре до 2,40 м щиты поднимаются одним человеком в 8 минут. Механизмы для подъема имеют простое устройство.

Оба полотна уравновешены противовесами.

Применение дерева для щитов только что указанных размеров было бы нерационально.

Железо позволяет создать более легкую и удобную конструкцию. Железный щит скользящего типа состоит из ряда горизонтальных балок, покрытых обшивкой.

Балки располагаются в соответствии с эпюрой нагрузки, т.е. чаще в нижней части.

Обшивка может быть устроена лишь с одной стороны.

При размещении балок (швеллеров, двутавров или клепаных двутаврового сечения), приходится решать простейшую задачу.

Пусть уместно взять n балок.

Следовательно, высота щита должна быть поделена на n частей, исходя из условия равенства площадей нагрузки.

Значит,

$$\begin{aligned} h_1^2 &= \frac{H^2}{n} \\ h_2^2 &= \frac{H^2}{n} \cdot 2 \\ h_3^2 &= \frac{H^2}{n} \cdot 3 \text{ и так далее.} \end{aligned}$$

Балки помещаем в центре давления на каждую площадку щита, обслуживаемую одной балкой. Аналитически положение осей балок можно найти по формуле:

$$y = b + \frac{a}{3} \cdot \frac{3b + 2a}{2b + a},$$

применяемой для прямоугольных пластинок, затопленных водой (черт. № 71). Черт. №№ 72—76 изображают щиты скользящего типа одиночный и при двухъярусном расположении. При дальнейшем увеличении размеров щитов встречаются затруднения в подъеме щитов в виду значительного развивающегося трения при скольжении ¹⁾.

Применение катков, прикрепляемых к щитам, позволило применять плоские щиты при значительно больших перекрываемых пролетах.

Такие щиты появились впервые в Англии в 1883 году на р. Вивер (окрестности Манчестера).

Ролики помещались с тыловой стороны и торцевой, при чем первые ролики — рабочие, а вторые — направляющие.

Направляющие ролики могут и отсутствовать (черт. №№ 77, 78 и 79).

¹⁾ При отсутствии противовесов усилие для подъема щита скользящего типа равно $\mu \cdot \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{2} \right] \cdot l$ т., где l — ширина щита, H_1 — высота щита, равная глубине воды в верхнем бьефе, H_2 — глубина в нижнем бьефе и $\mu = 0,6$ для дерева по дереву и $\mu = 0,50$ жел. щитах и металл. пазах.

Для подъема щита нужно усилие $P = q_1 + q_2$, где q_1 — вес щита и q_2 — сопротивление при катании.

Вес щита легко подсчитать по спецификации, а сопротивление q_2 находим по формуле: $q_2 = \mu \cdot q_3 \cdot \frac{d}{D}$ (кроме того, следовало бы учесть трение на поверхностях катания, равное $f \cdot \frac{2q_3}{D}$, где f практически равно 0,04 до 0,10 и D выражено в см.) где μ — коэффициент трения в цапфах, а q_3 — гидростатическое давление на щит; D — диаметр ролика и d — диаметр цапфы (черт. № 79).

Принимаем в предварительных соображениях передаточное число механизма $k = 500$ и коэффициент полезного действия механизма 0,3.

Тогда для подъема нужно усилие $P = \frac{q_1 + q_2}{150}$

P должно быть не более пуда, чтобы подъем щита совершался вручную без затруднений.

Обычно устраивают противовес, которым уравнивают вес щита q_1 . Тогда остается затратить усилие при подъеме

$$P = \frac{q_2}{150}$$

Коэффициент трения в цапфах принимаем для чугунных катков $\mu = 0.50$, для стальных $\mu = 0,35$.

Подсчеты необходимо закончить определением времени подъема щита вручную, приняв скорость вращения рукоятки 0,50 м — 0,70 м в секунду при угловой скорости $\omega = \frac{0,75}{2 \cdot \pi \cdot l_1}$, где l_1 — длина рукоятки, принятая при расчете.

Время подъема в ручную не должно быть значительным: для щитов небольших и средних размеров не более 10 — 20 мин.

Щит Стонея. Стремление применять щиты больших размеров привело к изобретению особого каткового устройства, не связанного со щитом. При этом катки подвешиваются в особых рамках независимо от самого щита.

Такие щиты носят название щитов Стонея, по имени изобретателя.

Щиты Стонея получили всюду широкое распространение (в России применены на р. Мургабе) и применяются на реках всякого типа при больших подпорах и пролетах до 30,00 м, а при меньших пролетах — при высоте до 16,00 м.

При больших подпорах противовесами уравнивается не свыше $\frac{3}{4}$ веса щита, в виду сильной струи воды под низом открываемого щита, в виду чего нужен солидный вес для закрытия отверстия.

При этом сопротивление при катании $q_2 = f \cdot \frac{W}{r}$, где $f = \sim 0,065$ (черт. № 80). r — радиус роликов в сантиметрах и W — статическое давление воды на щит (ср. предыдущий тип щитов с приклепленными роликами).

Другими словами, величина q_2 в этом случае значительно менее, ибо приходится преодолевать лишь трение на поверхностях касания роликов и не приходится преодолевать трения в цапфах роликов: давление воды здесь не передается на цапфы, а прямо на ролики, прижатые к пазу.

Полное усилие при подъеме щита Стонея $P = q_1 + q_2$ где q_1 — часть веса щита, не уравновешенная противовесами, а $q_2 = f \cdot \frac{W}{r}$.

В действительности подъемное усилие несколько больше, как об этом будет упомянуто ниже.

Схема устройства щита Стонея ясна из чертежа № 81, где S — изображает щит и R — катковую раму, движущуюся независимо от щитов.

Катки расположены соответственно уменьшающемуся вверх давлению воды W.

Катковая рама подвешена с помощью двойного проволочного каната D, огибающего шкив — «г» тележки и шкив «а» сверху щита.

Концы каната D прикреплены в двух точках «b» к маневровому мостику.

Таким образом при движении щита катки проходят лишь половину пути, пройденного щитом.

Правильность поднятия катанием, а не скольжением обеспечивается тем обстоятельством, что канаты вдвое укорачиваются по длине, т.-е. как раз на величину поднятия рамы катка.

При подъеме щита вес его частично (см. выше) уравнивается противовесами.

Эти противовесы прикреплены к свободным концам цепей Галля или проволочных канатов «к», охватывающих своей серединой шкив А, расположенный в середине щита, считая по его толщине.

Канаты получают движение от лебедки, находящейся на маневровом мостике.

Черт. №№ 82—86 изображают проект щита Стонея, описанный им в 60-м ~~томе~~ Transaction of the Institution of Civil engineers.

Пролет равен 12,2 м, глубина воды—3,6 м.

Поверхность щита, обращенная к течению, представляет вертикальную плоскость.

Горизонтальные балки имеют вид ферм. Их две. Поперечные балки соединяют их между собой; к балкам прикреплена обшивка. Вес затвора равен $18\frac{1}{2}$ т при давлении воды на щит 81 т.

Вес механизма с катковой рамой равен 20 т.

В щитах Стонея горизонтальные балки (ригели) чаще всего имеют вид ферм, что отвечает солидным размерам щитов, и располагаются по высоте так, чтобы каждый ригель испытывал, примерно, одно и то же давление (см. выше).

В настоящее время при проектировании стремятся уменьшить число ригелей, что придает конструкции простоту и увеличивает сопротивление износу.

Кроме ригелей применяют в перпендикулярном и диагональном направлениях связи жесткости.

При исчислении напора воды на щит исходят из положения горизонта.

в бьефа, а также скорости подходящей воды, т.-е. $H_{расч.} = h + \frac{v^2}{2g}$,

где h — глубина воды на пороге в верхнем бьефе, а v — скорость притока воды.

Щит устройства, описанного выше, пропускал бы слишком много воды при примыкании его к быкам плотины.

Черт. № 87 изображает схему конструкции противофильтрационного устройства.

Большой железный прут прижимается давлением воды к клинообразному

уплотнению достигают применением изогнутого, гибкого, немного изогнутого листа, приклепанного к обшивке щита с боков его.

Наличие уплотнения вызывает, естественно, дополнительное сопротивление подъему щита, равное $\Delta P = \varphi N$, где $\varphi = 0,50$ для железа по железу и N — давление на площадь ω уплотнения; $\omega = b \cdot H$, где b — ширина уплотнения ($\sim 0,05$ м) и H — высота напора на щит.

Здесь уместно добавить, что в практике при исчислении усилия для подъема щита нередко уклоняются от данных, получаемых от приведенных здесь формул, принимая полное усилие для подъема $P = 0,052 W$ до 0,10. W.

Дело в том, что ржавчина, загрязнение катков, образование льда, механические дефекты катков и их пути и др. причины сильно увеличивают сопротивление при подъеме (как в щитах Стонея, так и предыдущего типа). Последнего, впрочем нечего особенно опасаться при наличии противовесов.

Однако, лебедки должны быть сделаны сильнее, чем по обычному теоретическому расчету.

В холодных странах приходится считаться с явлением сгустения смазки в лебедке, что увеличивает сопротивление в лебедке и должно быть отмечено запасом в ее силе.

Подвешивание большей части выстроенных щитов Стонея произведено с помощью проволочных канатов.

Однако, в Европе в последнее время чаще применяют при этом цепи Галля.

Проволочные канаты значительно дешевле цепей Галля, но зато сильно изнашиваются даже в случае применения шкивов большого диаметра и сильно меняют длину от нагрузки и температуры.

Кроме того, цепи Галля обеспечивают параллельность движения обоих концов щита в то время, как проволочные канаты расстраивают ее уже от незначительного скольжения.

Однако, цепям Галля присущ большой недостаток: составленные из большого числа мелких пластинок, они подвержены в значительной мере действию ржавчины, что приводит их в неблагоприятных условиях к быстрому износу с одной стороны, а с другой — к увеличению сопротивления при подъеме щита. Следовательно, цепи Галля требуют хорошей смазки, что осуществимо в случае применения их для щитов водоподъемных плотин, ибо в этом случае они мало подвержены действию сырости и всегда могут быть смазаны.

Во избежание схода щита с катков и для обеспечения правильной работы противофильтрационных устройств по торцевым граням щита ставят направляющие ролики.

Эти ролики, в отличие от ранее описанных, являются нерабочими (см. черт. № 79).

Черт. №№ 88—98 — изображают щит Стонея высотой 6,32 м при пролете 18,00 м.

Расчет щита Стонея не представляет никаких затруднений.

Ригели рассматриваются, как балки, свободно лежащие на 2-х опорах и загруженные равномерно распределенной нагрузкой.

Ригели проектируются из прокатных балок, а при больших размерах щита из клепаных ферм.

Расстояние между ригелями не должно быть меньше 0,50 м для удобства сборки и клепки с одной стороны, а с другой — это расстояние должно быть так выбрано, чтобы вес щита получился наименьший.

Обшивку рассчитываем, как балку с заделанными концами при $M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{12}$, (или считают по известным формулам Баха) где q — нагрузка на единицу длины балки, а l — расчетный пролет — расстояние между заклепками двух смежных ригелей.

Зная полное давление на щит Q , получим давление на одну катковую раму, равное $\frac{Q}{2}$.

Число катков находим по формуле Герца для случая соприкасания цилиндра с плоскостью (материал — сталь).

$\delta = 0,418 \sqrt{\frac{p \cdot E}{r}}$, где p — давление на 1 пог. единицу касания.

$E = 2 \cdot 10^6$ — модуль упругости для стали,

r — радиус катка в см,

δ — наибольшее допускаемое напряжение стали на смятие.

При размерах катка $d \times l$ (диаметр \times длина) находим $p = \frac{Q}{2 \cdot n \cdot l}$.

Нетрудно подобрать число катков, чтобы δ было меньше 5000 кг/см².

Для предварительного определения веса щита Стонея можно пользоваться формулой Инж. Мелентьева

$P = (200 + 2,7\omega) \cdot \omega$, где ω — площадь щита в кв. метрах, а P — вес щита в кг.

Эта формула дает иногда расхождение с действительным весом, что объясняется индивидуальным учетом необходимости устраивать щиты не слишком легкими для уменьшения сотрясений.

При значительном прогибе ригеля над краем катка необходимо устраивать шарнирные опоры.

Для этого между опорной поверхностью рамы щита и катками устраивают особый балансир, распределяющий давление на катки равномерно по их длине.

Существенным недостатком щита Стонея является подверженность катков действию наносов при поднятом щите (разница скоростей движения щита и катков).

В позднейших конструкциях имеются примеры устранения этого недостатка путем введения большего числа блоков и устройства особого приспособления, заставляющего рамы роликов двигаться быстрее и выходить из воды при подъеме щита (Панамский канал).

Современные щиты Стонея получают движение чаще всего от моторов, но в запас устраиваются и ручные приводы. В первом случае время подъема щита падает до нескольких минут.

Щиты Стонея особенно пригодны при больших подпорах, а на несудоходных реках и при средних подпорах.

В случае больших подпоров часто в связи с использованием водной силы, и на судоходных реках приходится мириться с невозможностью использовать для судоходства реку в свободном ее состоянии: наличие моста обычно не дает возможности использовать отверстие для прохода судов.

Работа щитов Стонея еще недостаточно проверена при сильных морозах, когда можно опасаться неисправной работы катков.

Нижеприводимая таблица свидетельствует о широком применении щитов системы Stoney.

Плотины системы Stoney.

НАИМЕНОВАНИЕ	Число.	Пролет. отверстие	Ш И Т Ы.			Год соору- жения.	Название реки.
			Высота.	Ширина	Вес в тон- нах.		
Англия.							
Belleek	4	8,84	4,42	9,48	12,2	1833	Lugh Evne
Ballinasloe	4	7,61	2,74	8,8	—	1888	Suck
Drumshambo	4	7,61	1,52	8,80	—	—	Shannon
Richmond	3	20,11	3,81	21,60	32,6	1895	Thamas
Glasgow	3	24,4	3,65	26,0	—	1901	Clyde
Manchester-Kanal	{ 17 16	3,65—9,14 9,14	3,52 7,92	4,1—10,2 10,20	34	1893	
Германия и Австрия.							
Herbrum ¹⁾	6	8,5	2,5	9,1	6,73	1895	Dortmund— Ems-Kanal
Klein-Machnow ¹⁾	4	10	{ 4,0 6,50 }	10,4	{ 12,4 18,7 }	1905	Teltow-kanal
Berlin ¹⁾	18	2,46	3,78	2,34	—	1893	Spree
Fraunfall ¹⁾	1	{ 7,06 6,40 }	1,80 2,20	8,12 7,30	2,1 6,2	1903	Traun
Швейцария и Франция.							
Chèvres	6	10	8,50	11,38	50	1894	Rhone
Hagneck	{ 2 1	10 12	6,50 3,25	10,85 12,85	22 11,5	1899	Aare
Rheinfelden	{ 3 8	10 22,1	5,0 1,0	10,8 22,58	25 —	1898 1902	Rhein
Beznav	7	15	6,3	16,1	57,5	1902	Aare
Aibula-werk	{ 2 1	8,0 15,0	9,0 5,0	9,0 16,0	—	1909	Albula
Rheinau	{ 3 4	12,0	{ 7,0 6,2 }	12,8	43	1908	Rhein
Wimmis	1	7,0	{ 3,5 3,7 }	8,5 7,8	10,5 11,5	1908	Simme
Laufenburg	4	17,3	{ 15,0 13,7 }	—	—	1908	Rhein
Augst-Wyhlen	10	17,50	9,5	18,7	100	1908	Rhein

1) Ролики укреплены на самих штах.

¹⁾ Ролики укреплены на самих щитах.

НАИМЕНОВАНИЕ	Число.	Пролет. отверстие.	Ц П Т Ы.			Год соору- жения.	Название реки.
			Высота.	Ширина.	Вес в тон- нах.		
Höngg ¹⁾	4	14,5	1,5	14,5	5,6	1904	Limmat
Baden	3	14	3,15	14,75	16,0	1908	Limmat
Leuk	3	15	5,6	16,1	—	1908,9	Rhone
Avignonet	1	10,0	8,0	—	—	1902	Drac
Tuilliére	{ 1 7	{ 7,0 10,0	{ 13	11,1	—	1910	Dordogne
Азия.							
Periar	1	2,9	3,9	—	—	—	—
Мургаб	3	6,40	7,5	—	—	—	р. Мургаб.
Северная Америка.							
Sault-Ste-Marie	4	14,5	8,15	15,2	—	1902	Saint-Marys River
" " "	4	16,0	3,9	16,5	27,0	1902	Chicago- Drainage
Lockport	15	9,16	6,1	9,58	29,0	1895	Canal
Buffalo	13	24,35	6,50—8,4	25,2	85,0	1900	Niagara
Laguna Arizona	3	10,1	5,5	10,6	—	1908	Colorado
Minneapolis	3	4,95	5,5	—	—	1906	Mississippi
Панамский канал а) б)	14 8	{ 13,41	5,8	—	—	—	Панамский канал.
Английские колонии.							
Assuan	130 { 120 10	2,00	{ 7,0 3,5	—	—	1902	Nil
Beheron	1	3,96	8,22	—	—	—	—
Makulpota	3	4,27	4,57	—	—	—	—
Buntola	{ 8 1	{ 4,57 2,9	{ 5,48 3,88	—	—	—	—
Schwebo-Canal	4	—	3,35	12,2	—	1906	Moo-River
Bangkok	4	—	5,68	6,08	—	1907	—
Assiout	11	5,00	4,87	—	—	1906	Нил

¹⁾ Ролики укреплены на самих щитах.

Русский тип деревянной щитовой плотины с постоянными стойками.

Описание конструкций.

Общие сведения и схема плотины. Деревянные плотины особенно распространены у нас в России. Причиной распространения их послужило богатство лесными материалами. Деревянные плотины неприменимы для больших подпоров, так как отдельные части получились бы громоздкими, сильно стесняющими живое сечение и по своим размерам трудно выполнимыми из дерева. За предельный подпор, при котором целесообразна постройка плотины из дерева следует считать — 2 саж. (около 4,25 метра), при чем высота устоев плотины от пола до карниза не должна превышать — 7,5 м (3½ саж.). Наибольший подпор, поддерживаемый деревянными плотинами на Марининской системе — 3,2 м (1,50 саж.) и на Тихвинской — 3,8 м (1,80 саж.). Большое преимущество деревянных плотин заключается в скорости их исполнения и дешевизне. Что касается долговечности, то этот тип плотин наименее долговечный. Надводные части, не соприкасающиеся с водою, держатся 15—20 лет; части, попеременно смачиваемые и осушаемые — наименее долговечны и сохраняются в течение 8—10 лет. Деревянные части плотин, постоянно находящиеся в воде, не подвержены порче. С течением времени дерево в воде твердеет до такой степени, что трудно поддается топору. Тем не менее срок службы подводных частей плотины определяется некоторым пределом — от 40 до 70 лет. Существование этого предела обуславливается не порчей дерева, а механическим действием фильтрующей воды, протачивающей шпунты, в результате чего появляется опасная для сооружения фильтрация в основании.

В значительной степени долговечность плотины зависит от качества употребляемого леса. Лес должен быть безусловно здоровый и не тронутый синевой. Для частей, постоянно находящихся под водою, возможно применение елки, а надводные части необходимо исполнять из сосны.

Замечательно, что части дерева, не подверженные большим усилиям, могут долго сохранять наружно здоровый вид, как говорят «стоят по привычке». Но от самого слабого удара топором разлетаются в труху. Деревянная плотина «Знаменитая» на реке Сухоне, ныне замененная плотиною Поаре с бетонным флютбетом, простояла с незначительным ремонтом 6 лет после того, как была признана совершенно негодной.

В излагаемом разделе рассматривается тип разборчатых деревянных плотин с постоянными опорными частями затворов и съемными затворами.

Схема этой плотины такова (черт. № 94):

Плотина состоит из основания (флютбета) Г, береговых устоев (А) и промежуточных массивных быков Б. Последних может быть один и несколько, может и совсем не быть в зависимости от величины отверстия плотины. Отверстие между массивными опорами подразделяется на части постоянными, более легкими опорами Е. Полученные таким образом отверстия закрываются съемными затворами. Через плотину устраивается постоянный переходный или проезжий и служебный мост В. Соответственно изложенной схеме рассмотрим типы и конструкции отдельных частей плотины.

Флютбет. Флютбет плотин состоит из трех частей: понура, водобоя и слива. Ниже слива устраивается каменная рисберма (черт. № 95). Понур и водобой заключаются между шпунтовыми линиями А, В и С, слив заканчивается или шпунтовой линией или же забитыми частокон сваями. Перед понуром делается глиняная отсыпь с мощением поверху для увеличения пути

фильтрации, а ниже слива устраивается каменная рисберма для предохранения дна реки от размыва. Так как сливная часть по своей конструкции водопроницаема, то потеря напора должна произойти полная у шпунта С, соответственно чему путь фильтрации следует принимать от Е до К (черт. № 95). Для грунтов водопроницаемых глубину забивки шпунтов и протяжение понура и водобоя можно предварительно определять по Бляю, корректируя данными практики:

$$L = m \cdot c \cdot H$$

где L путь фильтрации, m — коэффициент запаса, c — коэффициент, колеблющийся в зависимости от грунта в пределах от 5 до 18, H — подпор. Для мелкого илистого песка $c = 18$, для гравия $c = 12$ и для гальки $c = 5$. Проф. Зброжек дает следующие соотношения между размерами частей флютбета и подпором:

$$\begin{aligned} AB &= \text{от } H \text{ до } 2H \\ BC &= \text{» } 3H \text{ » } 5H \\ CD &= \text{» } 6H \text{ » } 7H \end{aligned}$$

В этих соотношениях большие пределы принимаются для грунтов водопроницаемых.

Обычно понурная часть делается около $1,5H$, а водобойная в $1,5 — 2$ раза длиннее понурной.

Для грунтов, плохо проницаемых водой, как глинистых и песчано-глинистых, практикой наших деревянных плотин на водных путях установлены следующие размеры частей флютбета: понур — $5,3 — 6,4$ м ($2,5 — 3$ саж.) водобой — $6,4 — 8,5$ м ($3 — 4$ саж.) и слив от $8,5$ м (4 саж.) и больше, в зависимости от расхода в реке.

По своему устройству флютбеты можно разделить на три типа:

- 1) свайные
- 2) ряжевые
- 3) смешанной конструкции.

Свайные флютбеты устраиваются на грунтах, допускающих забивку свай при подпорах не выше 1-ой сажени и возвышении свайного флютбета над дном реки не свыше $1,0$ м ($0,5$ саж.). При больших возвышениях флютбета и больших подпорах сваи подвергаются изгибу и шпунты расстраиваются.

Ряжевые флютбеты устраиваются на основании, не допускающем забивки свай.

Смешанной конструкции флютбеты делаются в тех случаях, когда основание допускает забивку свай, но флютбет возвышается над дном реки больше чем на $1,0$ м ($0,5$ саж.) и подпоры больше $2,0$ м (1 саж.).

Рассмотрим подробно конструкцию перечисленных трех типов флютбетов.

Свайный и смешанный флютбет. Флютбет под всей плотиной имеет однообразное устройство. Над флютбетом устраиваются постоянные опорные части массивные и стоечного типа и затворы плотины. Последние идут над линией В (черт. № 95). Опорные массивные части обычно состоят из береговых устоев и промежуточных быков. Пролеты между массивными опорами делаются не свыше $12,75$ м (6 саж.), обычно же $8,50 — 10,65$ м ($4 — 5$ саж.).

Для флютбетов свайного и смешанного типов расположение шпунтовых линий одинаково. Шпунты забиваются двух типов: брусчатые и досчатые.

Брусчатых шпунтов обычно делается два: непрерывный шпунт agg'gb (см. черт. № 96) и такой же шпунт chh'h'hd. Первый называется *понурым шпунтом* а второй *королевым*. Шпунтовые ряды эти делаются из брусьев толщиной 15 — 18 см (6" — 7") с прямоугольным шпунтом (черт. № 97). Продольный шпунт ef, забиваемый в конце водобойной части, называемый *водобойным*, забивается из досок толщиной 7,6 см (3 дюйма) (черт. № 96). Под устой этот шпунт не проходит. В конце слива устраивается четвертый продольный шпунт ki'k'i'k или сплошной или же с перерывами в пролетных частях, где, вместо шпунта, забиваются частоком сваи (см. черт. № 98). Предпочтительна забивка сплошного шпунта во избежание просадки загрузки сливной части. Шпунт этот тоже досчатый из досок толщиной 7,6 м (3"). Основание быков и устоев окружено такими же досчатыми шпунтами (черт. № 96). Досчатый шпунт делается треугольным (черт. № 99).

Глубина забивки шпунтов зависит от степени водонепроницаемости грунта и от сопротивления его забивке свай. В построенных плотинах эта глубина колеблется от 1,0 м (0,5 саж.) до 3,20 м (1,5 саж.) При высоких флютбетах эта глубина забивки не должна быть менее 2,15 м (1 саж.).

При забивке шпунтов следует обратить особое внимание на сопряжение их в пересечениях. Сопряжение достигается забивкой фасонных свай (черт. №№ 100 и 101).

Шпунты забиваются между направляющими насадками, так называемыми рамными, одетыми на направляющие сваи. Насадки стесываются со стороны шпунта, а где это требуется по конструктивным соображениям, как увидим дальше, и сверху (черт. № 102). Направляющие сваи располагаются в шахматном порядке через 2,13 м (1 саж.) (черт. № 103). Насадки одеваются на сквозные шипы, вырубленные на сваях с расклинкой (черт. № 104) и прикрепляются к каждой свае скобами с завершенными концами (черт. № 102). Для введения в работу сопротивления горизонтальным силам обоих рядов направляющих свай, насадки соединяются между собою сквозным болтом, проходящим через шпунт. Болты располагаются в промежутках между сваями через одну сажень и делаются из круглого железа толщиной 2 см ($\frac{3}{4}$ дюйма).

Направляющие сваи забиваются в грунт на длину, несколько большую, чем шпунты (на 0,5 — 1,0 м длиннее).

Детали свайного флютбета. Пространство между шпунтами в плане заполняется круглыми сваями, забитыми на глубину не меньшую для требуемого по расчетной нагрузке на них отказа. По забитым в пролетных частях сваям располагается ростверк, по которому настилаются полы. Сваи забиваются правильными рядами в расстоянии центр от центра 1,60—2,15 м (0,75—1 саж.). Глубина забивки свай определяется, как сказано выше, расчетом отказа по нагрузке на сваи соответственно грунту основания. В твердых грунтах сваи забиваются до отказа равного нулю. Примерный план расположения свай показан на черт. № 105. Толщина свай — 22 см (5 верш.). На черт. № 106 показан тип св.йного флютбета деревянных плотин Мариинской системы для подпоров до 3,2 м (1,5 саж.). Шпунты срезаются несколько выше насадок — на 8—9 см (верш. на 2), при чем на брусчатых шпунтах выбирается гребень, а досчатые затесываются в виде гребня. Гребни выступают над насадками. По сваям на сквозной шип владутся прогоны (насадки) из бревен толщ 22 см (5 верш.). Прогоны эти врубаются в рамные насадки шпунтовых линий лапой, как показано на черт. № 107. Верхняя сторона прогонов стесывается под ватерпас для положения по ним пологого настила. Прогоны прихватываются к сваям

завершенными скобами. На гребни шпунтовых линий одеваются шапки, в которых вынут соответственный паз. Шапки кладутся на просмоленном войлоке, охватывающем нижнюю их постель и паз. На королевой шпунт кладется пазом король или так называемый фахбаум, тоже на войлоке. Шапки вытесываются из бревен толщиной 26—30 см (6 и 7 верш.), а король делается составным из двух брусьев, вытесанных из бревен толщиной 35—40 см (8—9 верш.). Брусья соединяются между собой в шпунт с прокладкой смоленого войлока и связываются взаимно болтами толщиной 2,—2,5 см ($\frac{3}{4}$ " — 1") через 1,0 м (0,5 саж.). Шапки прибиваются к насадкам завершенными болтами толщиной 2,5 см (1") через 2 м (1 саж.) или 1,0 м (0,5 саж.). Король привинчивается к насадкам болтами толщ. 2,5 см (1") с гайками или же специально изготовляемыми шурупами толщ. 2,5—3,8 см (1" — 1 $\frac{1}{2}$ "). Король обычно составляется из цельных брусьев во весь пролет плотины между массивными опорами; концами своими на 0,50—0,70 м (0,25—0,30 саж.) король входит в нарубку этих опор. Для плотин Маринской системы с пролетами от 18,50 до 10,65 м (4—5 саж.) король должен иметь следовательно длину 9,80—11,90 м (4,60—5,60 саж.). Шапочные брусья на поперечных шпунтах (понурном, водобойном и сливном) тоже делаются обычно цельными, но концами в нарубку устоев и быков не закладываются, так как не несут горизонтальной нагрузки от подпора. При затруднениях в заготовке длинного и толстого леса возможно делать шапки и даже короли составными. В этом случае следует усилить прикрепление их к насадкам и обратить особое внимание на производство сращиваний отдельных частей. Шапки сращиваются в шпунт с прокладкой просмоленного войлока (черт. № 108). Брусья короля сращиваются прямым или косым зубом с замком (черт. №№ 109 и 110).

В понурной части флютбета по прогонам настилается двойной пол из досок толщиной 6,3 см (2 $\frac{1}{2}$ "), концами своими укладываемых в четверти, вынутые в шапке понурного шпунта и в королевом брус. Швы двух рядов досок располагаются в перевязку (см. черт. № 107), проконопачиваются смоленой паклей и заливаются пиком (варом). Доски прибиваются к каждому прогону и четвертям двумя корабельными гвоздями длиной—для нижнего ряда—10 см (4") и для верхнего 12,7 см. (5")—15,2 см (6") (см. черт. № 106).

Во флютбетной части настилается или такой же пол, как в понуре—из двух рядов досок толщ. 6,3 см (2 $\frac{1}{2}$ "), или же нижний ряд делается из досок, а верхний из пластин, толщиной 11 см (2 $\frac{1}{2}$ верш.) припазованных друг к другу в четверть с проконопаткой и заливкой пиком (черт. № 111).

Для облегчения работы короля по водобойю кладутся упорные брусья (см. черт. № 107), к которым припазовывается настил. Упорные брусья одним концом прирубаются к королю и другим—к шапке водобойного шпунта и прибиваются к прогонам завершенными болтами толщ. 2 см ($\frac{3}{4}$ ") дюйма.

Настил понурного и водобойного полов примыкает к так называемому *компактному брусу*, положенному вдоль стен быков и устоев на просмоленном войлоке и прибитому к рамным насадкам завершенными болтами толщ. 2 см ($\frac{3}{4}$ ") (см. черт. № 107).

Если расстояние между сваями, по которым кладется ростверк, поддерживающий понурный и водобойный полы, больше, чем 1,8 м (0,75 саж.), то в ростверк вводятся еще промежуточные *подможные* брусья. В таком случае ростверк имеет устройство, изображенное на чертеже № 112.

Сливной пол устраивается или из пластин, прифугованных друг к другу в притык и прибитых корабельными гвоздями дл. 18 см (7"), или из бревен

толщ. 13—18 см (3—4 верш.) с притескою друг к другу и прибивкой заершенными болтами дл. 26—30 см (6—7 верш.) 2 см ($\frac{3}{4}$ " толщ. (см. черт. № 106).

До высоты полов понур загружается глиной с тщательной утрамбовкой, водобой—смесью глины с чурой. Эта смесь составляется пополам из глины и чуры. Слив загружается камнем. Перед понуром делается глиняная отсыпь толщиной до 1,0 м (0,5 саж.), длиною 3,20—4,25 м (1,5—2 саж.) для увеличения пути фильтрации. Отсыпь эта замащивается булыжником на мху. Ниже сливного пола делается каменная отсыпь — рисберма, протяжением 3,20—4,25 м ($1\frac{1}{2}$ —2 саж.). Если бы по величине расхода, переливающегося через плотину, это протяжение рисбермы оказалось бы недостаточным, то увеличивается длина сливного пола устройством одной или нескольких ступеней, как это показано на чертеже № 106". (Ленинградская плотина на Тихвинской системе).

Уклон понурного пола делается от 1:6 до 1:8 и сливного от 1:8 до 1:12.

В случаях, когда пол водобойной части подвергается ударам льда, предпочтительно устраивать его по типу черт. № 111, а сливной пол настилать бревнами.

Детали флютбета смешанного типа. На черт. №№ 113 и 114 изображен повышенный свайный флютбет с подпольной ряжевой нарубкой типа, принятого в плотинах Тихвинской системы. Понурный шпунт повышенный, с рамными насадками на разном уровне. Так же расположены рамные насадки шпунта в конце слива. Королевой шпунт, забитый между рамными насадками на одном уровне, срезан у поверхности дна реки и обделан сверху гребнем. На гребень одет вертикальный ряд брусьев, соединяемых в шпунт и положенных друг на друга на просмоленном войлоке. Нижний брус прибивается к рамным насадкам заершенными болтами, а верхние — к нижележащим такими же болтами. На Тихвинской системе эти горизонтальные шпунтовые брусья носят название «*лежащих свай*». На верхний шпунтовый брус одет королевой брус, устроенный так же, как было описано в предыдущем типе флютбета. Водобойный шпунт повышенный, забитый между рамными насадками, положенными у дна реки. Подпольная нарубка притесана к поперечным и продольным шпунтам. Между нарубкой и поперечными шпунтами прокладывается просмоленный войлок (см. черт. № 113). Сверху подпольной нарубки проложены подможные брусья. Шапки и полы устраиваются так же, как это было сказано при описании устройства свайного флютбета. Перед понуром делается глиняная отсыпь с мощением поверху камнем на мху, а ниже слива устраивается каменная рисберма, как это было описано выше. Рубка внутренних ряжей производится без припазовки. Наружные обтесанные ряжи, примыкающие к шпунтовым линиям, рубятся с припазовкой из более толстых бревен 26—30 см (6—7 верш.) и внутренние из тонких 20—22 см ($4\frac{1}{2}$ —5 верш.). Пересечения ряжей устраиваются обыкновенной врубкой (см. черт. № 115). Углы и пересечения с наружной стеной устраиваются в лапу (черт. №№ 116 и 117). Для придания большей взаимной связи частям нарубки лапы делаются с запотемками (черт. №№ 118 и 119). Нижние венцы нарубки прикрепляются к сваям ершенными скобами, а все винцы вышележащей нарубки взаимно связываются ершенными болтами, забитыми приблизительно по одному на каждую погонную сажень. Заполнение ряжевых ящиков загрузкой производится так же, как и заполнение соответственных частей флютбета в свайном типе. Для защиты

от ударов льда передние концы полов закрываются прижимными брусками. В понуре эти брусья прибиваются заершенными болтами поверх шапки, в сливе — непосредственно ниже шапки (см. черт. № 113). В типе смешанного флютбета, изображенном на черт. № 113, возможны варианты в устройстве отдельных частей. Понурный шпунт и водобойный могут быть закончены сверху по типу королевого шпунта. Водобойный шпунт может кончатся по типу, изображенному на черт. № 120. В этом типе шпунт заменяется шпунтовой стенкой из бревен, входящих в состав нарубки.

Ряжевой флютбет. Как указывалось выше, в грунтах, не допускающих забивки свай, устраивается ряжевой флютбет.

Общая планировка частей флютбета производится по той же схеме, как для свайного типа. Шпунтовые свайные ряды заменяются шпунтовыми стенками из горизонтальных бревен, продольными и поперечными, имеющими расположение, аналогичное со шпунтовыми свайными рядами. На черт. № 121 показан тип ряжевого флютбета на скалистом грунте.

В грунте основания делается под плотину выемка с ройками, (бороздками) соответствующими расположению шпунтовых стенок. Глубина роек — до 75 см (0,35 саж.), откосы одиночные. В выбранном таким образом углублении ведется нарубка флютбета, а по ее возведении выемка затрамбовывается бетоном. Бетон, схватываясь со скалой основания и нарубкой флютбета, связывает нарубку с основанием. Все шпунтовые стенки являются составными частями подпольной нарубки. Части нарубки должны быть взаимно связаны ершенными болтами, как и в подпольной нарубке свайного типа флютбета. В местах соединений поперечных и продольных ряжей нарубки со шпунтовыми стенками и в местах взаимных пересечений последних получают доступные для фильтрации пути. Поэтому необходимо с особой тщательностью вести врубки, выбирая для этой работы наиболее искусных мастеров. Все врубки в шпунтовых стенках, как и самые стенки, должны быть положены на смоленом войлоке.

На черт. № 122 показан тип взаимного соединения трех шпунтовых стенок в месте примыкания усовой части быка к понурной шпунтовой стенке. Одна из шпунтовых стен быка соединена с понурной в лапу, а другая связывается с первой шипом и скобой.

В случае, если по твердости скалистого основания затруднительно производство выемки и роек под флютбет, связь последнего с основанием достигается с помощью закладных болтов (см. черт. № 123).

Если в основании имеется грунт, непроницаемый для свай, но в то же время не схватывающийся с бетоном, как, например, сплошные валуны, цементированные глинистыми грунтами, то вопрос об устройстве ряжевого основания следует разрешать в зависимости от рода грунта. Возможно устройство под ряжами более глубоких роек, с заполнением их бетоном или же устройство сплошного бетонного основания с зубьями для увеличения пути фильтрации.

Береговые устои. Береговые устои в плане имеют очертание, показанное на черт. №№ 124 и 125. Наружное очертание основания устоя окружено шпунтовыми линиями: брусчатой понурной сверху по течению, и досчатыми линиями по боковому очертанию и снизу по течению. Последняя линия является продолжением сливной, если таковая забивается. В очертании устоя забиваются сваи в расстоянии друг от друга не более 2,15 м (1 саж.), при чем располагаются правильными рядами (см. черт. № 124). Сваи эти служат осно-

ванием для ряжевой нарубки устоя, опирающейся на них и на шапки шпунтовых линий. Под устой проходит королевая брусчатая шпунтовая линия. В случае ряжевого основания нарубка устоя возводится на подпольной нарубке, описанной выше. Надпольная часть устоя для всех типов флютбетов устраивается одинаково. На сваи одеваются сквозным шипом насадки, концами врубленные частью в шапки, частью в насадки (см. черт. № 126). Насадки прикрепляются к сваям скобами. Внутренние ряжи рубятся без притески из бревен толщиной 20—22 м ($4\frac{1}{2}$ — 5 верш.). С лицевой стеной АВСД (черт. № 125) ряжи соединяются лапой (черт. № 116), а между собой в пересечениях простой рубкой (черт. № 115). Лапы устраиваются с запотемками. Для упрощения работы, чтобы не делать излишних лап, поперечные концы нарубки с внутренней (земляной) стороны рубятся с остатком простым пересечением. Остаток выступает на 45—55 см (0,25—0,20 саж.) (черт. № 125). Крылья устоя АВ и ДС делаются не короче, как в два ящика, при чем эти крылья должны входить в коренной берег. При высоте устоев (от пола) до 4,25 м (2 саж.) крылья достаточно делать шириною в 2 ящика, при большей высоте — в 3 ящика. Свыше 6,40 м (3 саж.) ряжевые устои не следует делать.

Устой должен удовлетворять условию устойчивости на опрокидывание давлением земли и противодействовать сдвигу в горизонтальном направлении, что при проектировании должно быть проверено.

В существующих типах устоев плотин Мариинской и Тихвинской систем, не превышающих 6,40 м (3 саж.), вышеуказанные условия вполне удовлетворяются при ширине устоя, по низу равной высоте. Кверху ширина устоя может убывать до ширины одного или двух ряжевых ящиков (черт. № 127).

Лицевая нарубка устоев исполняется из бревен толщ. 26 см (6 врш.), тщательно притесанных друг к другу постелями (черт. № 128) с шипом через каждую сажень = 2,13 м. Наружная часть нарубки обтесывается цилиндром и строгаются. Сращивание бревен внутренней и наружной нарубки производится шипом (черт. № 129). Сrostки располагаются в перевязку. Для лучшей перевязки швов нарубка делается из бревен длиной 8,5—6,4 м (4 и 3 саж.), при чем при заготовке назначается $\frac{2}{3}$ общего количества бревен длиной 6,4 м (3 саж.) и $\frac{1}{3}$ — длиной 8,5 м (4 саж.). Лицевая нарубка передней части устоя (над понурной линией) и боковой от понурной линии до короля взаимно скрепляется завершенными болтами толщ. 2 см ($\frac{3}{4}$ дюйма) по одному и больше на каждую сажень = 2,13 м. Скрепление болтами делается снизу до подпорного горизонта.

Для лучшей взаимной связи внутренней ряжевой нарубки в последнюю загоняются шпопки из пластин толщиной 11 см ($2\frac{1}{2}$ верш.). Длина шпонок делается не более 1,50 м (0,70 саж.). Расположение и устройство шпонок показано на черт. № 126.

Над королевым шпунтом, проходящим под устой, ряжевая стенка исполняется из шпунтовых бревен, положенных на просмоленный войлок. Шпунтовая стенка доводится на 40—45 см (0,20 саж.) выше подпорного горизонта. Устройство шпунтовой стенки и сопряжение ее с королем, конец которого заложен в нарубку, видно из черт. №№ 130 и 131.

В понурной части, где пол устраивается наклонным, внутренняя ряжевая нарубка делается уступами (черт. № 137), а наружная, как показано на черт. № 132.

К лицевой стене устоя над королем укрепляется так называемая коренная стойка для упора щитовых затворов. Коренная стойка врезается

в нарубку и прикрепляется к ней болтами. Стойка делается или с пазом для щитов—тип плотин Тихвинской системы (см. черт. №№ 133 и 134) или же без паза—тип Мариинской системы (см. черт. № 135). Прикрепление коренных стоек к устою видно из тех же чертежей.

Размер стойки должен быть определен расчетом по передаваемому на стойку давлению воды, при чем стойка рассчитывается в запас прочности, как балка на двух опорах с пролетом равным высоте устоя. Число болтов берется на 2 пог. м (1 пог. саж.) 2—3 штуки при диаметре 2 см ($\frac{3}{4}$ ").

Для шипа (черт. № 133) должна быть произведена проверка на скалывание по плоскости *a*. Для получения облегченного сечения к стойке ставится подкос, упирающийся одним концом в стойку, а другим в компактный брус водобойного пола. Подкосы соединяются со стойкой и компактным брусом шипами и прибиваются ершенными болтами к стене устоя. Коренная стойка соединяется с королем шипом.

Для предохранения лицевой нарубке от ударов льда при ледоходе или же от ударов сплавляемыми мулом через плотину до ее сборки лесными материалами (Тихвинская система) делается обшивка из пластин, как показано на черт. № 136. Эта обшивка делается выше горизонта ледохода или сплава на 40—45 см (0,20 саж.). Обшиваются боковые стены и передняя открытая (незагруженная землей) стена.

Высота устоя делается на 0,64 м (0,30 саж.) выше наивысшего горизонта. Устой делается или же по всей длине одинаковой высоты (черт. № 137) или же уступчатый (черт. № 138) для экономии в нарубке. Затопляемые высокой водою пониженные части должны быть замощены мостовою на мху.

По лицевой стене устоя сверху укладывается карниз из обтесанных брусьев или досок толщиной 6,7 см (3 дюйма).

Наружные стены устоя осмаливаются вареной смесью древесной смолы с пиком в пропорции по весу: смолы около $\frac{3}{4}$ части и пика около $\frac{1}{4}$ части. Осмолка производится за два раза. Особое внимание должно быть обращено на осмолку торцевых частей нарубки.

Ряжевые ящики и пазухи устоев загружаются землей, вынутой из котлована при постройке устоя с тщательной утрамбовкой. Ни в коем случае нельзя загружать ряжевых ящиков глиной, во избежание расстройств врубок при замерзании глины зимою. Наилучшая загрузка — это песок с примесью земли или же песчано-глинистые грунты с незначительным процентом содержания глины (до 25%). Также недопустима загрузка легкими растительными землями (торф), так как опора не будет обладать достаточной устойчивостью.

Передняя и задняя стенки устоя обсыпаются землею в виде конуса холного или же усеченного (см. черт. №№ 137 и 138).

Конусы замащиваются слоем мостовой в плетневых клетках или же двойной мостовой на мху. Откосы конусов делаются от 1:1 $\frac{1}{2}$ до 1:2, в зависимости от рода грунта. Для грунтов с преобладанием песка следует брать откос 1:2 и для глинистых грунтов 1:1 $\frac{1}{2}$. Для песчаных грунтов следует этот откос доводить даже до 1:3.

Для предохранения нижнего конуса от подмыва подошва его должна быть укреплена каменной наброской, сухой кладкой или же фашиной кладкой (см. черт. №№ 139 и 140). Фашинная стенка возвышается над горизонтом воды нижнего бьефа на толщину не менее одного пучка, т.е. 30 см (1 фута).

Для легко размываемых грунтов фашинная стенка укладывается на фашинный тюфяк, служащий продолжением тюфяка, уложенного ниже слива, если последний тюфяк имеется (черт. № 141).

Промежуточные опоры. Промежуточные опоры устраиваются трех типов: ряжевые (массивные), стоечные простые и стоечные контрфорсные.

Ряжевými быками отверстие плотины расчленяется на отдельные пролеты не выше 12,75 м (6 саж.) (см. черт. № 98).

Эта ширина пролета установлена практикой из условия получения наиболее экономичных и удобных для устройства и ремонта переходного или проезжего моста через плотину и промежуточных между быками опор и затворов.

Для постепенного сжатия струй в пелях наиболее спокойного прохода воды между быками и устоями, в повурной части стены быков и устоев устраиваются скошенными. Теоретически так же скашивать стены следовало бы и в нижней части быков и устоев (см. черт. №№ 142 и 143), для уменьшения водоворотов и разрушительного их действия на рисберму и берега ниже плотины. Но устройство угловых пересечений, особенно под острыми углами, из дерева весьма трудно и эти части являются наиболее слабыми частями конструкции. Поэтому практически стены быков и устоев в нижней части не скашиваются. Вредное влияние водоворотов на береговые части локализуется устройством соответствующего берегового укрепления (см. черт. № 140), а на рисберму — заложением под камнем фашинного тюфяка или особенно тщательным устройством рисбермы из крупных камней, с подбором их и укладкой между забитыми по площади рисбермы сваями для удержания камня на месте.

Пролеты между ряжевými быками делятся на более мелкие пролеты установкой промежуточных стоек разного типа. Расстояние между промежуточными стойками обуславливается типом затвора. Эти затворы делаются досчатые из отдельных щитов. Щиты поднимаются вручную при помощи ворота одним человеком. Щиты для возможности свободного маневрирования ими делаются не длиннее 1,60 м (0,75 саж.), а по высоте не более 1,0 м (0,50 саж.). Принятый длиной щита и определяется величина пролета между промежуточными стойками. При пролете между быками в 10,65 м (5 саж.) устраивается не меньше 6 пролетов между стойками, что дает расстояние между осями стоек:

$$\frac{1}{6} \cdot 10,65 = 1,77 \text{ м } \left(\frac{5}{6} = 0,83 \text{ саж.} \right).$$

Для этого расстояния длина щитов и получается около 1,60 м (0,75 саж.).

В дальнейшем рассмотрим отдельно устройство промежуточных опор всех типов.

Ряжевые быки. Толщина быка делается не меньше, как в два ряжевых ящика, т. е. не меньше, как 3,2 — 4,25 м (1,5 — 2 саж.). Длина быка при известной ширине определяется из условия устойчивости его под действием давления воды. Эти условия с большим запасом удовлетворены при длине быка, равной длине плотины от повурной до сливной линии. В практике быки встречаются двух типов, т. е. длиной равной длине всего флютбета (см. черт. №№ 96 и 98) или же до водобойной линии (см. черт. № 143). В последнем случае водобойная пунктовая линия АВ идет непрерывно. В существующих типах плотин для случая быков во всю длину флютбета водобойная линия устроена с перерывами под быками (см. черт. №№ 96 и 98). Такое устройство

имеет то оправдание, что избегается необходимость делать трудно исполнимые и наиболее слабые в смысле фильтрации части флютбета — пересечения шпунтовых линий. Но такое устройство имеет и свои недостатки. Практика показала, что загрузка ряжевых ящиков быков в водобойной части дает осадки вследствие уноса ее фильтрующей водою в нижнюю, сливную часть, загруженную камнем. Явление это вполне понятно, так как при отсутствии водобойного шпунта под быками путь фильтрации сокращен по сравнению с таковыми в соседних участках под полами. При перестройке плотин Тихвинской системы в 1912—1914 г.г. водобойный шпунт и для случая длины быка во весь флютбет был сделан непрерывающимся под быками, что дало ожидаемые результаты. Отсутствие этого шпунта под береговыми устоями не имеет такого значения, так как путь фильтрации под устоями значительно удлиняется устройством конусов выше плотины. На основании изложенного следует признать наиболее рациональной схему расположения шпунтов во флютбете по черт. № 96 или № 99, *но с устройством непрерывающегося под быками водобойного шпунта.*

Высота быков такая же, как и устоев, при чем от усовой части до водобойной линии эта высота делается полной, а дальше уступами, как и устой (см. черт. № 138). Над королевой линией устраивается, как и в устоях, шпунтовый простенок. Нарубка и соединение ее с шапками шпунтовых линий и полами устраивается совершенно аналогично с устоями (см. черт. № 132 и другие). К боковым стенкам быков, как и к устоям, прикрепляются коренные стойки. Усовая часть быка защищается специальным усовым столбом, прикрепленным к быку хомутами из полосового железа. По крайней мере двумя на одну пог. саж. = 2 м.

Вровень с карнизом верхний торец усового столба закрывается деревянной крышкой (см. черт. № 144). Нижняя часть быка до уровня полов загружается таким же материалом, как и соответствующие части флютбета. Ящики быков, расположенные выше пола, должны быть загружены такими же материалами, как устои и о загрузке этих ящиков следует повторить то же, что было сказано об устоях. Но загрузка землею производится лишь в пределах от усовика до водобойной стеньы. В сливной части ящики быков загружаются камнем. В случае необходимости стены быков, как и устоев, защищаются обшивкой (см. черт. № 136).

Сказанное об устройстве быков относится одинаково к быкам, устраиваемым на всех флютбетах, описанных выше типов.

Столечные опоры. Столечные опоры устраиваются двух родов: простые и контрфорсные, или усиленные. Простые столечные опоры имеют назначение служить упором для затворов плотины; усиленные опоры, исполняя то же назначение, поддерживают переходные балки моста, подразделяя пролет между быками на более мелкие пролеты для уменьшения сечения переходных балок моста. Простая стойка, в зависимости от воспринимаемого ею давления, делается или составная из двух брусьев (см. черт. № 145) или же из одного бруса с направляющей затворы доской (черт. № 146). Составные части ~~стоек~~ соединяются болтами. Для средних подпоров (около 3,2 м = 1,5 саж.) эти ~~столы~~ делаются диаметром 2 см ($\frac{3}{4}$ "') и располагаются по 3 шт. на 2 п. м (пог. саж.).

Нижний конец стойки укрепляется шапом в король (черт. № 147) и в упор. Последний соединяется зубами с упорным брусом. Упорный брус укладывается по ростверку водобойного пола (см. черт. №№ 107 и 107' и черт. № 147).

Упор прибивается к упорному брусу ершенными болтами. Верхний конец стойки упирается в балку переходного моста (а) и связывается с этой балкой и такой же, лежащей впереди, винтовым болтом.

Для уменьшения сечения стойки, если это требуется по недостатку толстого леса или же по величине подпора, устраиваются подкосы (черт. № 148). Подкос одним концом врубается в подможную стойку (а) и другим — в упорный брус. На черт. № 149 показана врубка такого подкоса.

Усиленные стойки, имеющие назначение поддерживать продольные балки переходного моста, устраиваются различным образом в зависимости от величины воспринимаемого ими давления моста и давления подпертой воды. Простейший тип усиленной стойки изображен на черт. № 150. Прогон, поддерживающий продольные балки моста (с), насаживается на шип стойки средней своей частью. По концам прогон опирается на добавочные стойки, как показано на черт. № 151 (D). Если расчетное сечение стойки таково, что стойку можно сделать обычного типа, составленную из двух брусьев, то она устраивается так, чтобы, по положению на нее прогона (с), пазы для затворов были бы открыты (черт. № 152). В противном случае стойку составляют из четырех частей (черт. № 153).

Усиленные стойки для больших подпоров и нагрузки устраиваются или по черт. № 151 или по черт. № 154 (подкосная система). Устройство этих опор видно из чертежей. Для предохранения частей опор от ударов льда, опоры обшиваются досками (см. черт. № 155).

Отдельные части усиленных опор соединяются взаимно, кроме соответствующих врубок и шипов, еще болтами винтовыми или заершенными, хомутами и скобами. Применение этих типов скреплений видно из чертежей. Если это требуется по расчету, усиленные стоечные опоры могут быть и более сложной конструкции — двойные (две опоры описанного типа ставятся непосредственно рядом и взаимно связываются) и с более или менее сложным раскосным заполнением между отдельными стойками.

Все части стоечных опор смолоты так же, как и стены устоев и быков. Сложного устройства стоечные усиленные опоры называют еще *тонкими быками*.

Затворы. Пролеты между стойками, и между стойками и быками или устоями закрываются затворами. Эти затворы устраиваются двух типов: шандорные и щитовые.

Шандорные затворы представляют из себя брусья, накладывающиеся друг на друга и своими концами входящие в пазы стоек (черт. № 156). Для подъема и опускания брусьев служат крючья по два на каждом бруссе, прикрепленные или болтом (черт. № 157) или же ввинченные нарезанным концом (черт. № 158) или забитые заершенным концом. Крючья входят в особые гнезда, выбранные в брусьях. Затворы применимы в тех случаях, когда не требуется быстрой разборки, для пропуска паводков и при небольших подпорах — не выше 2 м (1 саж.). Длина таких брусьев, для возможности свободного маневрирования ими и для получения сечений, выполнимых из одного бруса, делается не больше 4,25 м (2 саж.).

При таких больших пролетах промежуточные стойки получились бы весьма сложной конструкции. Поэтому затворы этого типа применяются в тех случаях, когда пролеты плотины невелики — не выше 4,25 м (2 саж.), или же когда возможно и выгодно подразделить весь пролет плотины массивными быками на мелкие пролеты не более 4,25 м (2 саж.). Это может быть лишь при небольших отверстиях плотин.

Размеры поперечного сечения шандоров определяются расчетом.

Второй тип затворов — щитовых — наиболее распространен на плотинах наших водных систем. Затворы щитовые состоят из отдельных щитов, закладываемых в пазы стоек один на другой до высоты, дающей нужный подпор. Размеры щитов, как говорилось уже, не должны превышать следующих: длина — 1,60 м (0,75 саж.) и высота — 1 м (0,50 саж.). Каждый щит составляется из досок, припазованных в четверти (черт. № 159). Доски связываются между собой двумя шпонками. Для маневрирования щитами к ним прикрепляются гвоздями планки из полосового железа, с выкованными в верхних концах крючьями. Толщина досок определяется расчетом. Для существующих плотин она не превышает 7,5—10 см (3—4 дюймов). В случае толстых досок концы их стесываются соответственно размерам пазов стоек (черт. № 160). Четверти в стойках делаются около 5 см (2-х дюймов).

Переходный мост. Через плотину устраивается проезжий или переходный служебный мост. Ширина проезжего моста устраивается не шире водобойной части, а обычно около 4,25 м (2-х саж.). Если мост служит только для пешеходов, то ширина его делается не более 3,20 м (1,5 саж.). Мост этот устраивается над водобойной частью плотины.

Над понурной частью плотины, непосредственно выше короля (по течению реки) устраивается служебный мостик для удобства маневрирования затворами плотины. Простейший тип переходного и служебного моста изображен на черт. № 161. Сечения продольных балок и настила определяются расчетом. Давление от стойки на верхнюю (по течению) продольную балку передается и нижним при помощи поперечных связей, располагаемых через 2,15 м (1 саж.). Эти связи делаются из пластин. Концы их выступают для помещения на них подкоса перильной стойки. Наибольший пролет, перекрываемый цельной продольной балкой — 8,50 м (4 саж.). Для больших пролетов получились бы слишком большие сечения балок или пришлось бы балки делать составными. Уменьшение расчетного пролета, а следовательно и сечений продольных балок достигается устройством промежуточных опор, на усиленных стойках (черт. №№ 162 и 163).

Настил переходного моста кладется поперечный из досок толщиной от 5—7,6 см (2 до 3 дюймов) по расчету. Если через плотину должен быть проезд, то по продольным балкам кладутся поперечные и по ним двойной или ординарный продольный настил. Размеры составных частей устраиваются по расчету.

Переходный и служебный мосты ограждаются перилами. На чертежах №№ 164 и 165 — изображены типы перил, а на черт. № 166 — парапет из брусев. Расстояние между стояками перил принимается в 2 м (1 саж.). По обе стороны щитов укладываются брусья А (черт. № 167), к которым прибиваются рельсы для катания подвижного ворота, служащего для подъема щитов. Устройство этого ворота будет описано ниже.

Приспособления для маневрирования затворами. Для опускания и подъема щитов пользуются воротом. На старых плотинах Мариинской системы этот ворот устраивался следующим образом. Концы стоек выпускались выше настила на 1,5—2,15 м (0,70—1 саж.). На выступающие концы укладывался деревянный вал во весь пролет между быками или несколько валов между отдельными стойками. На концы валов одевались деревянные колеса, при помощи которых вал приводился в движение вручную. На валу наматывались веревки или цепи, захватывающие привязанными к ним кольцами или

крючьями за крючья щитов. Это приспособление громоздко и требует значительных усилий. Такое приспособление устраивать не следует, почему чертежей их устройства не прилагается. В последнее время применяются подвижные ворота разных устройств.

Простейший тип ворота показан на черт. № 168. На деревянной раме из брусьев укреплены при помощи подкосов стойки. Между стойками вращается на железных шипах вал. Стойки стянуты тросом. Вращение вала сообщается аншпугом. Аншпуг переставляется в отверстия, выдолбленные на валу в его середине. На вал наматываются веревки или цепи, к которым зацепляется щит при его подъеме или опускании. Ворот передвигается скольжением на раме. Обратному вращению вала препятствует собачка и зубчатка (см. деталь к № 168).

На черт. № 169 изображен катучий ворот (так называемый «баран»). Ворот катается или по рельсам, уложенным по брускам, идущим поперек всей плотины (черт. № 169), или же по уголкам, прикрепленным к таким же брускам.

Для предупреждения обратного движения ворота при подъеме щитов, к валу прикрепляется зубчатка, по которой скользит собачка, укрепленная на стойке, поддерживающей вал. Для свободного движения вала в обе стороны собачка откидывается.

При опускании щитов применяется трамбовка для погружения щитов в воду и прижимания их к нижележащим.

Для регулирования горизонта воды приходится большей частью ограничиваться подъемом или опусканием верхнего ряда щитов. Чтобы каждый раз щитов не вынимать, устраиваются специальные крючья для их подвески (черт. № 170).

Ограждения плотин от ледохода. Для ограждения плотин от действия льда при ледоходе устраиваются или кусты свай или ледорезы. Расположение их и конструкция зависят от направления движения льда и от его толщины и скорости движения. Располагаются ледорезы с таким расчетом, чтобы предохранить от ударов льда быки и чтобы лед в пролеты направлялся в более или менее размельченном состоянии, при котором стойки не подвергались бы риску повреждения. На черт. №№ 171, 172 и 173 изображены типы применяемых кустов свай и ледорезов.

Расчет частей плотины.

1. Давление воды (черт. № 174).

Пусть

Вес куб. ед. воды — Δ .

Длина стойки от факбаума до середины переходного бруса — l .

Расстояние между осями стоек — a .

Давление воды на стойку на протяжении x равно

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot x^2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Давление воды на стойку со стороны напора

$$p_1 = \frac{\Delta \cdot a \cdot H^2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

То же со стороны нижнего бьефа:

$$p_2 = \frac{\Delta \cdot a \cdot h^2}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Полное давление на стойку, выражающееся площадкой ABCD (чертеж № 175):

$$p_1 - p_2 = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Точка приложения равнодействующей давления воды Р отстоит от низа стойки в расстоянии центра тяжести трапеции ABCD, которое определяется из условия статических моментов относительно оси CD:

$$(ABCD) \cdot y = (BCDE) \cdot \frac{BC}{2} + (BAE) \cdot \left(BC + \frac{AE}{3} \right).$$

После подстановки получим:

$$\frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2) \cdot y}{2} = \Delta \cdot a \cdot (H - h) \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \frac{\Delta \cdot a \cdot (H - h)^2}{2} \cdot \left(h + \frac{H - h}{3} \right);$$

$$\frac{H^2 - h^2}{2} \cdot y = (H - h) \cdot \frac{h^2}{2} + \frac{(H - h)^2}{2} \cdot \frac{H + 2h}{3},$$

$$\frac{H + h}{2} \cdot y = \frac{h^2}{2} + \frac{2h + H}{3} \cdot \frac{H - h}{2}.$$

$$(H + h) \cdot y = \frac{3h^2 + 2Hh + H^2 - 2h^2 - H \cdot h}{3},$$

$$(H + h) \cdot y = \frac{h^2 + H^2 + H \cdot h}{3},$$

$$y = \frac{H^2 + h^2 + H \cdot h}{3(H + h)} \dots \dots \dots (5)$$

Для случая, когда нижнего подпора нет, т.-е. при $h = 0$, имеем:

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot H^2}{2} \dots \dots \dots (4')$$

$$y = \frac{H}{3} \dots \dots \dots (5')$$

2. Расчет стоек без подкоса (черт. № 176).

Уравнение моментов действующих на стойку сил относительно точки А:

$$p \cdot (l - y) - R' \cdot l = 0$$

Отсюда реакция

$$R' = \frac{p \cdot (l - y)}{l}$$

На основании (4) и (5)

$$R' = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot l} \cdot \left[1 - \frac{H^2 + H \cdot h + h^2}{3(H + h)} \right] = \Delta \cdot a \cdot \left(\frac{H^2 - h^2}{2} - \frac{H^2 - h^2}{6 \cdot l} \right) \dots (6)$$

Очевидно

$$R = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{6 \cdot l} \text{ (см. форм. 4)} \dots \dots \dots (7)$$

Изгибающий момент в сечении x — x .

$$M_x = -R \cdot (1-x) + \frac{p \cdot (H-h)}{2} \cdot \left(h - x + \frac{H-h}{3} \right) + p \frac{(h-x)^2}{2} \quad (8)$$

где

$$p = \Delta (H-h) \cdot a$$

$$\frac{dM_x}{dx} = R - \frac{p(H-h)}{2} - p \cdot h + x \cdot p \quad (9)$$

M_{\max} получится для значения x , которое найдется из условия:

$$\frac{dM_x}{dx} = 0,$$

или:

$$R - \frac{p(H-h)}{2} - p \cdot h + p \cdot x = 0,$$

откуда:

$$x = \frac{p(H+h) - 2R}{2p} \quad (10)$$

Из этого уравнения находим x путем подстановки вместо p и R их значений.

M_{\max} найдется по форм. 8 после подстановки вместо x его значения из форм. 10.

3. Расчет стоек с подкосом.

Рассмотрим три случая в зависимости от расположения верхнего конца подкоса по отношению к точке приложения равнодействующей давления воды на стойку. Расстояние этой последней точки до фахбаума названо y (см. форм. 5).

Расстояние середины верхнего сечения подкоса до фахбаума l' (расчетная длина подможной стойки). Рассмотрим три случая:

а) $l' < y$,

б) $l' > y$,

в) $l' = y$.

Для того, чтобы подкос выполнил свое назначение — уменьшить размеры поперечного сечения стойки — подкос этот должен обладать достаточной жесткостью. При деревянных конструкциях эта жесткость трудно достигается, так как слабыми местами являются врубки и соединения дерева с железом. Поэтому расчет подкоса будем вести при самых невыгодных предположениях нагрузки его.

Случай: а) $l' < y$ (черт. № 178).

На голову подкоса A действуют следующие нагрузки: половина давления воды ($ABA'B'$): $\frac{R_1''}{2}$, и приходящаяся в точку A часть давления воды ($ADA'E$): R_2'' .

R_1'' и R_2'' найдутся способом, описанным выше.

Расчетное давление воды на голову подкоса А (см. черт. № 179):

$$R'' = \frac{R_1''}{2} + R_2''.$$

Вертикальная составляющая этого давления, отрывающая подможную стойку от флютбета:

$$S = R'' \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Составляющая, сжимающая подкос:

$$T = \frac{R''}{\sin \alpha}$$

где α — угол наклона подкоса к вертикали.

При расчете подкоса следует учитывать, что усилие может оказаться приложенным не по оси подкоса. В этом случае крайним положением усилия T примем линию АС (см. черт. № 180). Поэтому, кроме сжатия усилием T , подкос подвергается изгибу с моментом:

$$M' = T \cdot \frac{b}{2}.$$

Наибольшее напряжение в подкосе:

$$\sigma = \frac{T}{\omega} + \frac{M'}{W},$$

где ω — площадь поперечного сечения подкоса и W — момент сопротивления этого сечения.

Рассчитанный по этим усилиям подкос будет обладать достаточной жесткостью и потому можно считать опоры А и В неподвижными и определять давление стойки на прогон моста в точке D, как реакцию неразрезной балки ABC на трех опорах, нагруженной давлением воды.

При этом для простоты расчета можно заменить действие соответствующих частей давления воды действием равнодействующих сосредоточенных сил. Сечение стойки следует определить по наибольшему изгибающему моменту.

Чтобы избежать сложного расчета, возможно давление на прогон в точке D и сечение стойки найти из расчета балки АВ на двух опорах, нагруженной соответственной частью давления воды, способами, изложенными выше.

Случай б:

$$l' > y.$$

В этом случае систему ВВСС можно рассматривать, как двойную балку на двух опорах, нагруженную равнодействующей давления воды на стойку

$$P = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2}.$$

Давление воды на голову подкоса в В:

$$R'' = \frac{P \cdot y}{l'}.$$

Давление, передаваемое визом стойки:

$$R_1'' = p \cdot \frac{(l' - y)}{l'}$$

Находим наибольший изгибающий момент. Далее расчет ясен.

Разложением давления на голову подкоса R'' , как в предыдущем случае, находятся усилия S и T , действующие на подможную стойку и подкос. Сечение стойки рассчитывается по одному из способов, указанных в предыдущем случае. Полученное сечение стойки сравнивается с найденным при расчете подкоса и выбирается большее.

Случай в:

$$l' = y.$$

Подкос рассчитывается на действие сил в предположении, что на голову подкоса B действует равнодействующая давления воды на стойку

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2}.$$

В дальнейшем стойка рассчитывается как неразрезная балка на трех опорах A, B, C (см. черт. № 182).

4. Расчет контрфорсных стоек.

Контрфорсная стойка воспринимает непосредственно давление вод от одного пролета и через посредство прогонов давления воды смежных пролетов (см. черт. №№ 183 и 184).

Давление воды, передаваемое одной стойкой прогону моста:

$$R = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^3 - h^3)}{6l}$$

Для случая, изображенного на черт. №№ 183 и 184, когда контрфорсные стойки расположены через $n = 3$ пролета, давление, передаваемое голове контрфорсной стойки в A :

$$\Sigma R = R + R(n - 1) = n \cdot R$$

Давление ΣR передается в данном случае 3-мя узлами: C, D и E .

На каждый узел примем горизонтальное усилие

$$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{\Sigma R}{3}.$$

Горизонтальные усилия дают вертикальные составляющие, отрывающие стойки от флутбета:

$$S_1 = S_2 = S_3 = \frac{\Sigma R}{3} \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

и сжимающие стойку усилия:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \frac{\Sigma R}{3 \sin \alpha},$$

где α — угол наклонения подкоса к стойке. Кроме этих сил, на стойки действуют усилия S'_1, S'_2 и S'_3 от веса переходного моста и временной на него нагрузки.

Расчетный (наибольший) момент, изгибающий переднюю часть контрфорсной стойки АВ, найдется по формулам (8) и (10), при чем эта часть рассчитывается как двойная балка, т.-е. момент сопротивления сечения принимается равным сумме моментов сопротивления составных частей.

В расчет подкосов вводится момент, получающийся от внецентренности приложения усилий Т:

$$M' = T \cdot \frac{b}{2},$$

где b ширина подкоса.

5. Расчет коренной стойки ¹⁾.

Изгибающий момент и давление коренной стойки на прогон и флютбет определяются изложенными выше способами для стоек без подкосов и с подкосами с тою лишь разницей, что расчетное давление воды соответствует половине пролета между стойками, т.-е.

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{4}.$$

6. Расчет прогона переходного моста, поддерживающего стойки.

Прогон этот подвержен действию горизонтальных сил K (черт. № 185), передающихся верхними концами стоек, и вертикальных сил A , передающихся от настила моста.

Расчет сечения ведется по формулам косоугольного изгиба.

Прочные размеры прогона могут быть уменьшены передачей части горизонтальных усилий на все прогоны переходного моста при помощи поперечин, о которых говорилось при описании конструкций.

Если, например, переходный мост устроен на трех прогонах (черт. № 186), то в расчет каждого прогона вводится горизонтальное усилие:

$$K_1 = \frac{K}{3}.$$

7. Расчетные нагрузки переходного моста.

а) Толпа людей — для служебного мостика 450 кг на 1 кв. метр и для переходного моста — 400 кг на 1 кв. метр.

б) Фура — для случая, когда мост через плотину будет служить проезжим. Тип фуры принимается по роду ожидаемого движения, при чем тяжелого грузового движения через плотину допускать нельзя. Для описанных конструкций плотин следует принимать при расчетах крестьянский воз не тяжелее 100 пудов = 1,66 т с упряжкой не более трех лошадей общим весом $325 \times 3 = 975$ кг (черт. № 187).

в) Усилие от подъема щитов. Щиты поднимаются воротом. Усилие передается поровну на передний прогон переходного моста и прогон служебного мостика (см. черт. № 188).

Усилие для подъема щита находим в предположении, что сразу вынимаются все щиты одного пролета между смежными стойками.

¹⁾ Коренной стойкой называется стойка у стен массивных опор.

Давление воды на щит при ширине его a и высоте l :

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot H + \Delta \cdot a \cdot (H-1)}{2} \cdot l \text{ (черт. № 189),}$$

или:

$$p = \frac{\Delta a (2 \cdot H - 1) \cdot l}{2} \cdot l,$$

где Δ — вес 1 куб. единицы воды.

Принимая коэффициент трения дерева по дереву в воде $\varphi = 0,6$, получим усилие для подъема щита:

$$P = \varphi \cdot p + q,$$

где q — вес щита и подъемной цепи.

На каждый из прогонов при вытаскивании щита передается усилие: $\frac{P}{2}$.

г) Собственный вес 1 куб. метра сосны и ели:

сухой — 600 кг
намокшей — 900 кг.

8. Определение прочных размеров.

По найденным вышесписанным способом наибольшим изгибающим моментам и усилиям определяются прочные размеры отдельных частей плотины.

Допускаемые напряжения для сосны и ели можно принимать по нормам б. Министерства Путей Сообщения 1913 года для постоянных мостов. Напряжения эти принимаются для сосны и ели одинаковыми:

Непосредственное растяжение вдоль волокон . . .		= 100	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Непосредственное сжатие вдоль волокон . . .		= 55	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Сжатие (смятие) поперек волокон		= 15	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Изгиб	нормальные напряжения	= 70	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
	скалывающие напряжения вдоль волокон	= 15	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Скалывание непосредственно вдоль волокон . . .		= $7\frac{1}{2}$	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

Для прочного сопротивления продольному изгибу сжатые части рассчитываются по допускаемому напряжению с коэффициентом уменьшения

$$R'_2 = \varphi \cdot R,$$

где φ вычисляется по формуле Тетмайера:

$$\varphi = 1 - 0,00662 \cdot \frac{1}{r},$$

при

$$1,8 < \frac{1}{r} < 100,$$

и

$$\varphi = 3368 \left(\frac{r}{1} \right)^2$$

при

$$\frac{1}{r} > 100.$$

В этой формуле:

l — расчетная длина сжатого элемента, $g = \sqrt{\frac{J}{\omega}}$, — где J — момент инерции сечения и ω — площадь его.

Изложенные расчеты намеренно произведены элементарно путем ряда допущений, идущих в запас прочности. Более точные приемы расчета не дали бы ничего нового: в произведенных расчетах уже учтен многолетний опыт работы подобных конструкций, размеры коих нередко корректируются практическими соображениями.

§ 5. Вальцовые плотины.

Описание.

Вальцовыми, или цилиндрическими плотинами называются разборчатые плотины, затворами коих служат длинные полые цилиндры (см. черт. № 190, 191, 192).

При открытии пролета цилиндр вкатывается по зубчатым рейкам, расположенным на устоях, и весь пролет открывается сразу.

Подъем совершается с помощью цепей Галля или проволочных канатов, соединенных с подъемным механизмом.

В первой из построенных цилиндрических плотин (1902 год) было два подъемных устройства, действующих на оба конца цилиндра.

В плотинах, построенных позднее, подъемник обычно располагается у одного конца цилиндра, который называется «ведущим», или «рабочим» в отличие от другого конца — «ведомого», или «холостого».

В этом последнем случае, когда каждый цилиндр обслуживается только одним подъемником, на холостом конце цилиндра также прикрепляется цепь Галля, которая обвивает цилиндр в противоположном направлении, чем на рабочем конце, и служит для того, чтобы цилиндр не упал, если почему-либо нарушится его сцепление с зубчатой рейкой. Эта цепь закрепляется концом на устой неподвижно (черт. №№ 192, 193 и 194).

На концах цилиндра, на части окружности его, располагают на особых стальных кольцах зубцы, изготовленные из стали, которые служат для удержания цилиндра в любом определенном положении по высоте (дуги — бандажи, см. черт. №№ 193, 194)

Кольца, помимо зубцов, имеют еще гладкие поверхности катания, которые воспринимают на себя вес цилиндра и разгружают зубцы.

Подъем цилиндра может совершаться или лебедками ручного привода или электромотором.

В большинстве устройств имеются одновременно и электромотор и ручной привод, который может действовать в случае отказа работы мотора.

Открытие плотины при цилиндре длиной 18 метров и диаметре 4 метра происходит за 3 часа при работе 12 человек.

При моторе в 18 HP цилиндр за четверть часа вкатывается наверх при диаметре цилиндра 2 метра и длине 35 метров.

При поднятии цилиндра на каждый сантиметр по высоте требуется свыше 10 оборотов мотора, что дает возможность достигнуть точной регулировки подпорного горизонта, поместив в машинном здании указатель, позволяющий судить о размере щели, образовавшейся между порогом флют-

бета и цилиндром. По длине цилиндра устраиваются водовпускные окна на такой высоте, что вода может проникнуть в цилиндр и увеличить его вес, когда собственный вес становится недостаточным, чтобы сопротивляться давлению воды снизу (черт. № 191).

Опыт службы выстроенных вальцовых плотин показал, что при необходимости регулировать расходы в зимнее время, цилиндрическая плотина является лучшим решением.

Точно так же для рек, несущих песок и гравий, вальцовые плотины удобны тем, что при медленном опускании цилиндра флютбет очищается от наносов, вследствие образующегося донного течения.

Для судоходных плотин вальцовые затворы неудобны, ибо не освобождают сечение реки при высоких водах, когда желательно использовать естественную судоходную глубину.

Благодаря жесткости конструкции цилиндра, навалка льда на затвор не повреждает его, как показал опыт работы вальцовых затворов. При быстром течении реки и крупных донных наносах полезно обшивать остов затвора деревом, предохраняя оболочку от изнашивания.

Патент на цилиндрическую плотину был взят в 1900 году, а к 1914 г. уже было выстроено 72 цилиндрических плотины.

Главнейшие преимущества вальцовых плотин сводятся к следующим.

1. Цилиндры дают возможность перекрывать большие пролеты при больших подпорах, при отсутствии каких-либо постоянных или временных сооружений внутри пролета. Предельная величина пролета, который мог бы быть перекрыт вальцовым затвором, не меньше 60.00 м, к какому заключению пришли специалисты, хорошо знакомые с условиями работы вальца.

В практике имеются примеры перекрытия цилиндрами 35-ти метровых пролетов плотин и даже 45-ти метровых.

2. При незначительной затрате времени на маневрирование получаем возможность открывать большие пролеты плотины для прохода воды и льда.

3. При неблагоприятных условиях ледохода и при обилии наносов вальцовые затворы незаменимы в виду отсутствия мелких частей и простоты конструкции, а также ее жесткости.

4. Обслуживание цилиндра весьма просто и может происходить с берегов (иногда с устоев, если имеется несколько пролетов в плотине).

5. Начальное усилие при подъеме меньше, нежели усилие при среднем положении цилиндра, что весьма благоприятно для эксплуатации цилиндра. При этом с первого момента своего подъема затвор отступает назад от накопившихся наносов, отнюдь не оттесняя их.

6. Фильтрация в пролете, перекрываемом затвором, сводится к минимальной.

7. При открытом пролете ни одна часть затвора не подвергается действию ударов воды.

8. Регулирование подпорного горизонта можно производить настолько точно, насколько это требуется условиями эксплуатации плотины.

При сильных паводках и больших колебаниях расхода это представляет особую важность.

Недостатком цилиндрических плотин надо считать необходимость возводить слишком высокие опоры для поднятия цилиндра над горизонтом весенних вод.

Следовательно для судоходных плотин вальцовые затворы неудобны.

Вторым недостатком является невозможность осмотра зубчатых реек, находящихся в воде.

Третий недостаток — некоторая дороговизна (дороже вальцовой только мостовые плотины).

Вальцовые затворы, как и щитовые, устраиваются также ярусные, при чем верхний цилиндр спускается для пропуска плавающих тел.

Обычно каждый цилиндр воспринимает половину всего давления воды в закрываемом пролете. Плотность горизонтального стыка достигается деревянным брусом, прикрепленным к нижнему вальцу, при чем верхний затвор плотно прижимается к этому брусу в конечном своем положении, а при спускании его для пропуска льда и проч. он лишь касается бруса своей обшивкой.

Вальцовые плотины явно предпочтительны на реках с сильными паводками и ледоходом, обильными наносами при больших расходах и больших подпорах, при надобности в быстром и точном регулировании как летом, так и зимой.

Черт. №№ 190 и 191 изображают фасад и план вальцовой плотины.

Расчет вальцового затвора.

Выбор типа и определение основных размеров затвора.

Вальцовые затворы бывают следующих трех типов:

1. Основной цилиндр снабжается внизу щитком (см. черт. № 195).
 2. Основной цилиндр снабжается щитками как внизу, так и сверху (см. черт. № 196).
 3. Основной цилиндр снабжается перелным козырьком (см. черт. № 197).
- При заданном пролете и напоре выбор одного из этих трех типов зависит от следующих обстоятельств:

1. От величины среднего радиуса ρ оболочки основного цилиндра (черт. №№ 198, 199).
2. По конструктивным соображениям не рекомендуется сверху устраивать щиток выше 0,30 м над горизонтальной касательной к цилиндру (см. черт. № 196).

По тем же соображениям в случае применения нижнего щитка превышение цилиндра над порогом обычно не делают больше 0,50 м (см. черт. № 196) ¹⁾.

3. Точки касания зубчатых дуг-бандажей к зубчатым рейкам в нижнем положении затвора должны быть расположены над плоскостью флутбета на высоте не менее $\frac{1}{3} H$, где H — полная высота затвора (см. черт. №№ 195, 196, 197).

Это условие необходимо для устойчивости затвора в нижнем его положении.

4. От соображений экономического характера.

Меняя при подсчетах тип затвора и радиус оболочки цилиндра, отыскиваем наиболее экономичное решение.

При одном и том же радиусе ρ оболочки первый вариант предпочтительней второго, а второй — третьего.

Радиус ρ оболочки всецело зависит от толщины оболочки и наоборот ²⁾.

¹⁾ Однако встречаются примеры устройства щитка больших размеров.

²⁾ Толщина оболочки:

δ — берется в практике от 7 до 14 мм.

δ_c — конструктивная толщина оболочки с добавлением запаса на ржавчину.

Нетрудно видеть, что в случае, когда

$$H - 2q \leq 0,50,$$

или

$$q \leq \frac{1}{2} \cdot (H - 0,50 \text{ м}), \quad \dots \dots \dots \text{«а»}$$

то выгоднее первый тип.

Тип второй предпочтительней при

$$0,50 < H - 2q \leq 0,80,$$

или при

$$\frac{1}{2} \cdot (H - 0,50) > q > \frac{1}{2} (H - 0,80) \quad \dots \dots \dots \text{«б»}$$

Тип третий становится наивыгоднейшим,

когда $H - 2q > 0,80,$ или $q < \frac{1}{2} (H - 0,80).$ $\dots \dots \dots \text{«с»}$

Все выражено в метрах.

Каждому значению δ_c отвечает определенное значение q (см. ниже зависимость между q и δ_c по формуле «А»).

Следовательно, взяв поочередно $\delta_c = 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ и 14 мм, находим соответственные значения q , после чего по приведенным признакам «а», «б» и «с» определяем для каждого значения δ_c наивыгоднейший тип затвора.

Сравнив по весу найденные наивыгоднейшие затворы, найдем окончательно наивыгоднейшее сочетание толщины δ_c и типа затвора.

Вычисление веса основного цилиндра при различных величинах δ_c производим с помощью ниже прилагаемой таблицы.

Если принять за единицу вес цилиндра при $\delta = 14$ мм, и обозначит вес цилиндра при $\delta_c = \delta_i$ через V_i , то получаем таблицу, пригодную практически при всяких условиях пролета и напора.

V_{14}	V_{13}	V_{12}	V_{11}	V_{10}	V_9	V_8	V_7	Примечание.
1.000	1.011	1.025	1.045	1.073	1.110	1.164	1.240	Стенка цилиндра образована из оболочки и обрешетин из швеллеров, ее поддерживающих.

Вычисление веса щитков и козырька не представляет затруднений.

Зависимость между q и δ_c имеет вид:

$$\frac{p \cdot l^3}{8} = 0,8 \cdot \pi (\delta_c + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2 \cdot R \quad \dots \dots \dots \text{«А»}$$

где $\frac{p \cdot l^3}{8}$ — изгибающий момент в середине пролета при равномерно распределенной нагрузке, δ_p — расчетное уменьшение толщины оболочки на ржавчину, равное 1 мм, $\delta_m = \sim 0,23$ м и является добавочной толщиной, фиктивной, но вводимой в расчет в виду влияния швеллеров — обрешетин на величину момента сопротивления всего сечения, так что:

$W_{\text{netto}} = 0.8 \cdot \pi \cdot (\delta_c + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2$ по типу выражения $0,8\pi\delta\rho^2$ ¹⁾.
Для δ_m берем значение 0,23 м или точнее находим из таблицы:

q—сред- ний рад. оболочки	δ_m в м.			Примечание № 1.	Примечание № 2.
	s=60 см.	s=70 см.	s=80 см.		
см.					
50	0,224	0,192	0,168	s—шаг обрешетин, исчисленный по окружности ра- диуса q (ч. 198).	δ_m находим из уравнения выражающего равенство моментов сопротивления $W_n = 0,8\pi(\delta + \delta_m - \delta_p) \rho^2$ и $W_n = 0,8\pi(\delta - \delta_p) \rho^2 + \text{мом.}$ сопрот. сечен. из обреше- тин (черт. №№ 198 и 200).
100	0,259	0,222	0,194		
150	0,271	0,232	0,203		
200	0,277	0,238	0,208		
250	0,281	0,241	0,211		
300	0,284	0,243	0,213		
					δ — действ. толщина обо- лочка.

Предыдущую зависимость между ρ и δ_c перепишем так:

$$M_x = 0,8\pi \cdot (\delta_x + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2 \cdot R,$$

где R — допускаемое напряжение на растяжение и сжатие при изгибе; для момента сопротивления кольцевого сечения принято $W_0 = \pi \cdot \delta \cdot \rho^2$ вместо $\pi \cdot \delta \cdot \rho \cdot \left(\rho^2 + \frac{\delta^2}{4}\right)$, что дает отклонение от действительной величины W на 1%.

При учете δ_m и δ_p имеем $W_n = 0,8\pi(\delta_x + \delta_m - \delta_p)\rho^2$, после чего очевидна правильность предыдущих формул.

$$\text{По предыдущему } \delta_x + \delta_m - \delta_p = \frac{M_x}{0,8 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot R}.$$

Так как знаменатель есть выражение постоянное, то эюра M_x и эюра $\delta_x + \delta_m - \delta_p$ аналогичны, т.е. обе — параболические сегменты с основанием 1 и стрелкой $\delta_x + \delta_m - \delta_p$ (см. черт. № 200).

Нагрузку p считаем от собственного веса затвора и от давления верховой воды.

Эюра теоретических толщин δ_x оболочки получается вычитанием величины $\delta_m - \delta_p$ из ординат эюры $\delta_x + \delta_m - \delta_p$.

Так как имеется минимальная конструктивная толщина $\delta_0 = 7$ мм, то отрицательные значения, полученные при вычитании, отбрасываем и получим эюру практических толщин оболочки цилиндра (см. черт. № 200).

Эта последняя эюра состоит из прямоугольников с основанием 1 + 2 с, где с — опорная часть цилиндра, а высота равна δ_0 , и параболического сегмента с основанием 1 и высотой $\delta_c - \delta_0$.

¹⁾ Вместо $W = \frac{\pi \cdot \delta \cdot \rho \cdot \left(\rho^2 + \frac{\delta^2}{4}\right)}{\rho + \frac{\delta}{2}}$, что дает отклонение лишь на 1% и получается отбрасыванием $\frac{\delta^2}{4}$ и $\frac{\delta}{2}$; см. ниже „обрешетины оболочки“.

Величина λ находится из уравнения:

$$\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2}{\delta_c - \delta_o} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}$$

откуда

$$\lambda = 1 \sqrt{\frac{\delta_c - \delta_o}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}}$$

Итак объем оболочки основного цилиндра

$$V_1 = [\delta_o (1 + 2c) + \frac{2}{3} \lambda (\delta_c - \delta_o)] 2\pi r =$$

$$= \left[\delta_o (1 + 2c) + \frac{2}{3} 1 \sqrt{\frac{(\delta_c - \delta_o)}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}} \right] \cdot 2\pi r$$

Объем швеллеров $V_2 = \omega_m \frac{2\pi r}{\epsilon} (1 + 2c)$, где ω_m — площадь сечения швеллера. Полный объем, а следовательно и вес затвора зависит от величины δ_o или от ρ , что равносильно.

Стенка основного цилиндра конструируется иногда без применения продольных швеллеров — обрешетин. Такая конструкция уступает предыдущей (со швеллерами), почти не отличаясь по весу, будучи менее жесткой, несмотря на применение поперечных диафрагм жесткости.

На основании изложенного не приводим расчета оболочки без обрешетин.

В только что приведенных расчетных соображениях, чтобы не затемнять принципа, мы коснулись лишь одной стороны расчета затвора, связанной с его внешними размерами.

Теперь перейдем к более подробному расчету.

Характер работы оболочки основного цилиндра. Оболочка основного цилиндра подвергается следующим деформациям:

- 1) поперечному изгибу, как балка, свободно лежащая на двух опорах (рельсах-рейках);
- 2) скручиванию, как следствию внецентренности равнодействующей сил, действующих на цилиндр;
- 3) местному изгибу на верховой стороне от давления воды (в затворах без переднего козырька).

Поперечный изгиб и скручивание достигают максимума, когда затвор находится в нижнем положении, но не опирается на флутбет, и когда разность горизонтов в бьефах достигает также максимума. При этом напряжения от скручивания весьма незначительны, что можно видеть из прилагаемых таблиц.

Расстоя- ние х от опоры.	Изгиб. момент. М	Скручив. момент. Мс	Идеальные моменты Мид.	Мид. М	П Р И М Е Ч А Н И Е.
метр.	килограмм / метры				
4	309109	49000	312000	1,010	Пролет в свету равен 30,00 м при подпоре 3,20 м и пустом нижнем бьефе. Тип — со щитками: верхним и нижним.
5	365165	47000	367000	1,005	
10	565365	36000	566000	1,002	
15	632632	25000	634000	1,002	

х	М	М _с	Мид.	Мид. М	П Р И М Е Ч А Н И Е.
метр.	килограмм / метры				
2	174000	77740	185000	1,063	Пролет плотины в свету 16,00 м, подпор 4,18 м при пустом нижнем бьефе.
3	224000	72038	231000	1,031	
4	266000	66336	271000	1,019	
5	299000	60634	303000	1,013	
6	340400	43528	342000	1,006	

Обозначения те же, что и на предыдущей таблице.

На основании данных приведенных таблиц пренебрегаем скручивающими моментами.

Следовательно остается рассмотреть вопрос о сложении напряжений в оболочке на верховой стороне от местного цилиндрического изгиба под давлением воды и от поперечного изгиба всего цилиндра, как балки на 2-х опорах, и закончить вопрос рассмотрением скалывающих напряжений.

Пусть p_1 — величина напряжения в оболочке на верховой стороне от поперечного изгиба всего цилиндра.

Это напряжение действует параллельно оси цилиндра; p_2 — величина напряжения там же от местного цилиндрического изгиба оболочки под давлением верховой воды.

Оболочка рассматривается при этом, как арка с заделанными пятнами, покоящаяся на обрешетинах, p_2 — действует \perp к оси цилиндра, σ — коэффициент Пуассона, равный 0,3.

При цилиндрическом изгибе оболочки, кроме напряжения p_2 — появляются напряжения $\sigma p_2 = 0,3 p_2$, перпендикулярные к направлению p_2 . Если p_2 растягивающее напряжение, то δp_2 также растягивающее напряжение.

$$p_2 = + \frac{\varphi}{2} \cdot p \cdot \left(\frac{1}{h} \right)^2.$$

где $\varphi = 0,75$, h — толщина листового железа, образующего сводик, l — расстояние между осями швеллеров и p — равномерная нагрузка на 1 пог. метр. пролета арки.

Знак плюс относится к нижним волокнам, а минус — к верхним.

Допускаемая величина p_1 определяется из условия, чтобы при совместном действии на оболочку цилиндра напряжений p_1 , p_2 и δp_2 в оболочке не было бы нигде напряжений, превосходящих заданные нормы: на растяжение и сжатие при изгибе $R = 1200 \text{ кг/см}^2$, на скалывание $R_t = 750 \text{ кг/см}^2$.

Условиями прочности при этом являются:

$$p_1 \leq 2 R_t - 0,7 p_2$$

и

$$p_1 \leq R - 0,3 p_2$$

при

$$p_{2\max} = 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Эпюра, изображенная на черт. № 201, показывает, как определяется p_1 допускаемое.

Наибольшее скалывающее напряжение при изгибе цилиндра, как балки, лежащей на двух опорах, имеет место в нейтральном слое на опоре и определяется по формуле:

$$t = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b} \cdot \frac{e}{e - d},$$

где Q — опорная реакция, S — статический момент полусечения относительно нейтральной оси, I — момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси, b — толщина сечения в нейтральном слое, e — шаг заклепок в продольном шве на опоре и d — диаметр этих заклепок.

Так как δ всегда весьма мало по сравнению с ρ , то

$$S = 2\delta \rho^2$$

и

$$I = \pi \delta \rho^3,$$

а, следовательно

$$t = \frac{Q \cdot 2\delta \rho^2 \cdot e}{\pi \cdot \delta \cdot \rho^3 \cdot 2\delta (e - d)},$$

или

$$t = \frac{Q}{\pi \delta \rho} \cdot \frac{e}{e - d}$$

при чем

$$b = 2\delta.$$

Необходимо, чтобы

$$t_{\max} \leq R_t = 750 \text{ кг/см.}^2$$

Что касается устойчивости оболочки цилиндра при поперечном изгибе его, то в этом отношении можно быть покойным при наличии швеллеров — обрешетин при диаметрах затворов, имеющих место в практике.

Соединение листов оболочки. Оболочка основного цилиндра образуется из листового железа, при чем соединения отдельных листов делаются в нахлестку, в притык с одной накладкой и в притык с двумя накладками.

При этом образуются швы, параллельные оси цилиндра и перпендикулярные, разделяющие оболочку цилиндра на отдельные звенья.

Самый экономный способ соединения листов — это в нахлестку, так как при этом вес накладок сводится к минимуму.

Однако затруднительно делать продольные швы в нахлестку по условиям сопряжения швов продольных с поперечными, в виду чего в нахлестку лучше устраивать только поперечные швы, а продольные швы в притык с одной или двумя накладками.

Черт. №№ 202 и 203 изображают сопряжение продольного шва с поперечным.

Поперечный шов двух соседних звеньев оболочки образован в нахлестку.

Продольные швы соседних звеньев расположены здесь в одну линию и перекрыты парными накладками толщиной 7 мм.

Накладки при переходе с одного звена на другое или высаживаются (черт. № 202) или прерываются (черт. № 203).

Число звеньев берется нечетное, при чем в середине пролета располагают звено наружное с целью увеличения момента сопротивления сечения оболочки (черт. № 204).

На основании примерных подсчетов выяснилось, что:

1) самое выгодное соединение швов это в нахлестку;

2) следующее место занимает стык с одной накладкой при $\delta = 7 - 8$ мм и с двумя накладками при $\delta = 9 - 12$ мм;

3) третье место занимает стык с двумя накладками' при $\delta = 7 - 8$ мм и с одной накладкой при $\delta = 9 - 12$ мм;

4) поперечные швы целесообразнее проектировать в нахлестку;

5) продольные швы — в стык с 2-мя накладками, имеющими одно и то же сечение при всех толщинах оболочки, что удобно по конструктивным соображениям;

6) при этом оказывается необходимым в видах экономии уменьшать число продольных швов, увеличивая число поперечных, что дает свободу в изменении δ по длине цилиндра.

Этим закончим рассмотрение вопросов, касающихся оболочки цилиндра.

Обрешетины оболочки. Швеллера - обрешетины, участвующие в поперечном изгибе цилиндра, значительно увеличивают жесткость оболочки.

Момент сопротивления сечения из швеллеров - обрешетин

$$W_x = W_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{n \cdot \omega_m \cdot \varrho^2}{\varrho} \text{ (черт. №№ 198 и 205),}$$

при n — кратном четырех и ω_m — netto (площадь сечения швеллера).

При n — не кратном 4-х, формула для W сохраняет силу с достаточной степенью точности.

Швеллера необходимо располагать по обводу цилиндра так, чтобы в них не задерживалась вода, когда затвор покоится на флутбеге при отсутствии воды в нижнем бьефе.

Момент сопротивления поперечного сечения цилиндра

$$W_{\text{netto}} = 0,8 \cdot \pi (\delta - \delta_p) \cdot \rho^2 + \frac{1}{2} \frac{n \cdot \omega_m \cdot \varrho^2}{\varrho}$$

при

$$n = \frac{2\pi \varrho}{s},$$

или

$$W_{\text{netto}} = 0,8\pi (\delta - \delta_p) \rho^2 + \pi \cdot \frac{\omega_m}{s} \rho^2.$$

Взяв более удобную формулу

$$W_{\text{netto}} = 0,8\pi (\delta + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2,$$

получим из этих равенств

$$\pi \cdot \frac{\omega_m}{s} \cdot \rho^2 = 0,8\pi \delta_m \cdot \rho^2,$$

откуда

$$\delta_m = 1,25 \cdot \frac{\omega_m}{s} \cdot \left(\frac{\varrho}{\rho}\right)^2,$$

на основании каковой формулы и составлена таблица значений δ_m (см. выше).

Поперечные диафрагмы жесткости. В целях обеспечения неизменяемости формы основного цилиндра во время его работы, внутри цилиндра помещаются „поперечные диафрагмы жесткости“ (черт. № 206), приклепанные или прямо к оболочке цилиндра, или к швеллерам - обрешетинам.

По своему назначению диафрагмы разделяются на 3 группы:

1) диафрагмы, несущие цепи Галля (диафрагмы „а“, черт. № 206), они же являются днищами цилиндра.

2) диафрагмы, несущие дуги — бандажи („б“, черт. № 206);

3) пролетные диафрагмы жесткости, расположенные в остальной части цилиндра на определенном расстоянии друг от друга („в“, черт. № 206).

Диафрагмы имеют вид дисков с решетчатым заполнением (см. черт. № 207).

Вес диафрагмы 1-ой группы можно найти по эмпирической формуле: $q_1 = 536 \cdot r^2$ кг, где r — внешний радиус диафрагмы.

Вес диафрагмы 2-ой группы $q_2 = 0,946 \cdot \frac{Q \cdot r^2}{30,88 + 0,01054 Q}$ кг, где Q — нагрузка в кг на одну диафрагму.

Вес пролетной диафрагмы

$$q_3 = 1,060 \cdot \frac{Q \cdot r^2}{30,88 + 0,01054 \cdot Q} \text{ } ^1)$$

Выбор угла наклона зубчатой рейки к горизонту. При выборе величины угла « α » наклона зубчатой рейки к горизонту необходимо иметь в виду, что в нижнем положении затвора главная нагрузка на него — горизонтальная составляющая H давления воды, а в верхнем положении — собственный вес цилиндра q . Следовательно, в нижнем положении вальца выгодно α — увеличивать, ибо при этом уменьшается вес литых дуги и рейки.

Наоборот, для верхнего положения затвора угол α выгодно уменьшать, ибо при этом уменьшаются: тяговое усилие T и реакции зубьев S_1 и S_2 (черт. №№ 208 и 209).

Увеличение давления в обоих случаях на рельсы не имеет особого значения, ибо опорные балки лишь немного возрастают.

Чтобы удовлетворить обоим требованиям, необходимо изогнуть рейки в вертикальной плоскости, чтобы в нижней части угол был достаточно велик, а в верхней — достаточно мал (пример — плотина на Майне).

Однако чаще всего рейки делаются прямолинейными, с постоянной величиной угла $\alpha \sim 70^\circ$.

В случае возможности сильного ветра со стороны нижнего бьефа, необходимо, чтобы угол α был не больше угла, составленного с горизонтом равнодействующей собственного веса q затвора и горизонтального давления наиболее сильного ветра (до 250 кг/м^2), дующего со стороны нижнего бьефа.

В противном случае цилиндр в верхнем положении будет отходить от зубчатых реек в сторону верхнего бьефа и при уменьшении силы ветра ударяться о рейки.

Направление тяговой цепи берется параллельным зубчатой рейке, ибо при этом тяговое усилие достигает минимума.

Данные для расчета затвора в нижнем его положении. В нижнем положении затвора на него действуют: вес затвора, гидростатическое давление воды со стороны как верхнего, так и нижнего бьефа (см. черт. №№ 210, 211, 212), включая давление воды под опорным брусом.

Назовем равнодействующую всех горизонтальных проекций сил через X , а вертикальных — через Y .

Равнодействующая всех активных сил $P = \sqrt{X^2 + Y^2}$ ²⁾ есть функция от H_1 и H_2 — глубин на пороге.

¹⁾ Диафрагмы сист. инж. Гебель.

²⁾ Активные силы X и Y уравновешиваются: тяговым усилием, реакциями зубьев и рельсов (затвор еще не опирается на флютбет, от которого чуть отошел), реакцией флютбета и реакциями зубьев и рельсов (затвор уже опирается на флютбет).

Для расчета затвора на изгиб необходимо найти $R_{\max} = \sqrt{X^2 + Y^2}$, в силу чего надо выбрать самую невыгодную комбинацию глубин H_1 и H_2 , при которой имеем R_{\max} .

Очевидно, при этом не следует задаваться условиями, фактически невозможными при эксплуатации.

При всяких обстоятельствах момент сил, стремящихся закрыть затвор (собственный вес), должен быть больше момента сил, стремящихся открыть затвор, т.-е. $\eta_1 = \frac{M_1}{M_2} > 1$.

Для устойчивости цилиндра необходимо и достаточно иметь $\eta_1 = 1,25$ при самой невыгодной комбинации глубин H_1 и H_2 .

Если взять $\eta_1 > 1,25$, то тяговое усилие в начале подъема сильно возрастает, что нежелательно, так как создает постоянный эксплуатационный дефект устройства.

Кроме коэффициента устойчивости η_1 необходимо определить $\eta_2 = \frac{F_1}{F_2}$, где F_1 — сила с которой прижимается к флютбету опорный брус, при условии, что воды под брусом нет, F_2 — давление воды на опорный брус снизу вверх, когда вода просочится под опорный брус.

Отношение $\frac{F_1}{F_2}$ называется коэффициентом надежности уплотнения по флютбету при закрытом затворе.

η_2 должен быть больше единицы при всех комбинациях глубин H_1 и H_2 .

Формулы для определения веса цилиндрического затвора. На основании детальных подсчетов веса почти всех существующих цилиндрических затворов инж. Мелентьев вывел следующие формулы для определения веса вальцового затвора без цепей, пазовых конструкций и подъемных механизмов.

$$q_1 = (430 + 3,2 \omega) \omega$$

$$q_2 = (350 + 3,2 \omega) \omega$$

$$q_3 = (250 + 3,2 \omega) \omega, \text{ где } \omega = L \cdot H, \text{ при чем}$$

L — полная длина затвора в метрах,

H — » высота » от флютбета до верхней кромки затвора

q_1 — высший предел веса затвора в кг,

q_3 — низший » » » » »

q_2 — среднее значение.

Вес q_2 , исчисленный по этим формулам, обычно ничтожно отличается от точного веса затвора по проекту, рационально выполненному¹⁾.

В заключение приведем таблицу данных о размерах, выстроенных вальцовых плотин.

¹⁾ См. инж. Гебель. Цилиндрические затворы плотин, „Известия Н. М. Института, вып. 3, 1922 г. откуда взяты таблицы и формулы § 5.

Таблица данных о сооруженных цилиндрических плотинах.

№ по порядку.	Местность.	Страна.	Река.	Год начала постройки.	Число пролетов и величина их в метрах.	Высота подпора в метрах.	Вес цилиндра в тоннах.	Площадь перекрытого цилиндрического отверстия в кв. м.
1	Швейнфурт . .	Германия.	Майн	1902	18,00	4,14	72,6	74,52
2	"	"	"	1903	35,00	2,00	87,7	70,00
3	Берлин . . .	"	Ландверканал.	1904	5,56	1,58	5,6	8,78
4	Кольбе Moor .	"	Мангфалль.	1905	30,00	1,70	39,0	51,00
5	Бромберг . .	"	Браге.	1905	22,00	2,50	37,0	55,00
6	Трубек . . .	Австрия.	Бечва.	1905	10,00	1,75	18,8	17,50
7	Бад Киссиген	Германия.	Заале.	1906	10,00	2,65	10,2	26,50
8	Ниенбург . .	"	Боде.	1906	2 × 10,00	2,65	12,0	26,50
9	Нейгаттере- лебен . . .	"	"	1906	17,50	2,95	24,4	51,62
10	С. Мишель Савуайен	Франция.	Арк.	1907	30,00	3,00	62,0	90,00
11	Верона . . .	Италия.	Эч.	1907	12,00	3,40	27,0	40,80
12	Шененверд .	Швейцария.	Аара.	1907	17,00	2,00	20,6	34,00
13	Энсокоски .	Финляндия.	Вуокса.	1907	2 × 18,00	3,50	45,1	63,00
14	Троллгётан .	Швеция.	Гота-Эльф.	1908	2 × 20,00	4,00	55,7	80,00
15	Поппенвейлер	Германия.	Неккар.	1909	2 × 28,00	3,60	67,0	100,80
16	Дейефорс . .	Швеция.	Кларэльфен.	1908	2 × 32,00	3,50	90,0	112,00
17	Бейертгейм	Германия.	Альб.	1908	10,50	1,62	—	—
18	Геймбольд- сгаузен.	"	Верра.	1908	28,00	2,00	—	—
19	Тростберг . .	"	Альц.	1909	15,00	3,00	—	—
20	Целле . . .	"	Фуксе.	—	15,00	2,30	—	—
21	Ландек . . .	Австрия.	Трисанна.	1910	14,00	1,10	—	—
22	Ледербург . .	Германия.	Боде.	—	13,57	2,22	—	—
23	Осимо	Италия.	Потенца.	1913	10,00	0,80	—	—
24	Золиомбрезо .	Венгрия.	Гарам.	—	7,00	1,00	—	—
25	Кюпе	Германия.	Родах.	—	12,00	1,70	—	—
26	Тюбинген . .	"	Неккар.	—	2 × 26,50	2,15	—	—
27	Торреон . . .	Мексика.	Назас.	1911	2 × 17,00	2,50	—	—
28	Ля Унион . .	Чили.	"	1910	20,00	2,00	—	—

№ по порядку.	Местность.	Страна.	Река.	Год начала постройки.	Число пролетов и вели- чина их в метрах.	Высота подпора в метрах.	Вес ци- линдра в тоннах.	Площадь пере- крестного сечения отверстия в кв. м.
29	Киблинг . .	Германия.	Оз. Заалах.	1910	13,60	8,50	—	—
30	Блеккендорф	"	Боде.	1910	2 × 9,00	2,50	—	—
31	Вашингтон .	Соед. Штаты.	Спокане.	1910	2 × 30,50	5,80	—	—
32	Кассель . . .	Германия.	Фульда.	1910	2 × 24,30	4,80	—	—
33	Трасквила .	Мексика.	Назас.	1910	2 × 24,50	3,60	—	—
34	Аугсбург . .	Германия.	Лех.	1911	20,00	2,40	—	—
35	Лилла Эдет .	Швеция.	Гота-Эльф.	1911	2 × 22,00	3,80	55,0	83,60
36	Нокия	Финляндия.	Кумоэльф.	1911	2 × 23,30	2,09	—	—
	"	"	"	1911	21,00	2,60	—	—
	"	"	"	1911	7,00	2,60	—	—
37	Порнус . . .	Швеция.	Люлеэльф.	1911	12,00	3,50	19,0	42,00
38	Гамм	Германия.	Липпе.	1913	18,00	3,30	—	—
39	Виртгейм . .	"	Кинциг.	—	15,00	1,80	—	—
40	Ославан . . .	Австрия.	Ослава.	—	23,00	1,50	—	—
41	Эльфкарлеби	Швеция.	Далельфен.	1913	20,00	2,80	33,5	56,00
42	Арраурок . .	Соед. Штаты.	Буаза.	1913	9,15	2,44	—	—
43	Гадмерслебен	Германия.	Боде.	—	16,50	2,50	—	—
44	Ошерслебен .	"	"	—	9,60	3,15	—	—
45	Понтамафрей	Франция.	Арк.	1913	33,20	2,75	—	—
46	Френденберг	Германия.	Рур.	1913	2 × 25,00	2,00	28,0	50,00
47	Плауен . . .	"	Эльстер.	—	26,00	2,00	—	—
48	Аарлифос . .	Норвегия.	Тинельфен.	1912	2 × 15,00	5,00	—	—
49	Вамма	"	Гломмен.	1913	28,00	3,50	—	—
50	"	"	"	—	20,00	2,50	—	—
50	Колин	Германия.	Эльба.	—	2 × 19,00	1,95	—	—
51	"	"	"	—	19,00	2,55	—	—
51	Милич	"	Барч.	—	16,80	2,40	—	—
52	Бегашент- милъзали . .	Венгрия.	Бега.	—	15,00	3,50	—	—
53	Свельгфос . .	Норвегия.	Тинна.	—	28,00	3,20	—	—

§ 6. Сегментные плотины.

Сегментные затворы (черт. № 213) применяются для закрытия небольших и средних пролетов плотин и преграждений на каналах, отверстий вододержательных плотин, в качестве затворов водосливов глухих плотин и затворов водопроводных галлерей судоходных плузов, а также для запира-ния плотоходов.

Затвор состоит из сегмента, прикрепленного к оси вращения с помощью жестких рам в виде секторов, хорошо сопротивляющихся продольному изгибу. Вращение затвора происходит вокруг горизонтальной оси. В большинстве случаев сегментные затворы перекрывают пролеты до 15,00 м при подпорах до 3,50 м — 4,00 м, а в вододержательных и глухих водоподъемных плотинах — меньшие пролеты при больших подпорах. Деревянный тип сегментного затвора получил широкое распространение в Америке под названием щита Тейнтора (см. черт. №№ 214 а и б). Конструкция ясна из чертежа. Черт. №№ 215 и 216 изображают железо-бетонные плотины с сегментными затворами на гребне водослива.

Черт. № 217 изображает проект сегментного затвора для закрытия пролета в 15,00 м при подпоре 3,00 м, взявший первый приз на конкурсе в Австрии в 1906 году ¹⁾. Из чертежа № 218 видно устройство, обеспечивающее плотность прилегания затвора к порогу флютбета. Подъем и опускание затвора производится лебедками с цепями. Лебедки устраивают подвижными по длине плотины, имеющей несколько сегментных затворов, или неподвижными при каждом затворе, что весьма дорого. Применение электрической энергии упрощает маневрирование затворами. Затворы сегментных плотин, обращенные к воде вынуклой стороной, весьма легко поднимаются из воды, так как им не приходится оттеснять донного или поверхностного льда, а лишь скользить по его поверхности, обращенной к обшивке сегмента. Применение сегментных затворов на реках с сильным льдообразованием дало хорошие результаты (Северная Америка). Сегментные затворы хорошо сопротивляются ударам, передающимся по радиальным распоркам на ось и подшипники, которые могут быть сделаны достаточно солидными. Донные наносы не являются помехой в работе затворов, так как не мешают их открыванию. При медленном опускании затвора порог очищается от наносов в силу образующегося быстрого течения на пороге. Так как равнодействующая давления воды на поверхность затвора проходит чрез ось вращения, то при подъеме затвора приходится преодолевать лишь трение в цапфах и небольшую часть собственного веса, так как большая часть веса может быть уравновешена противовесами ²⁾. Часто сплошная ось затвора является неудобной в эксплуатации, ибо уменьшает свободный габарит. В этом случае вместо сплошной оси применяют короткие цапфы, но зато обращают особенное внимание на жесткость рам, соединяющих сегмент с осью. Решетчатые рамы являются недостатком конструкции, в виду чего их часто обшивают сплошь листовым железом или даже забетонировывают: плавающие прутья и хворост очень часто попадают в решетку рамы.

¹⁾ Затвор „Segment“.

²⁾ Для плотности соприкосновения с порогом центр вращения затвора помещают не в центре поверхности обшивки, а с эксцентриситетом в несколько сантиметров (на 3—4 см выше), что дает достаточную величину $\eta_2 = \frac{F_1}{F_2}$ (см. § 5).

Осевые подшипники упираются в особые подушки, заделанные в кладку устоя.

Ни в эксплуатационном, ни в конструктивном отношении невыгодно располагать подшипники высоко над водой; однако необходимо иметь возможность содержать подшипники в полной исправности.

Для этого предложен способ устраивать их подъемными с вертикальным перемещением их вверх с помощью особых приспособлений.

Сегментные затворы характеризуются быстротой и простотой маневров, малым сопротивлением движению при подъеме, плотностью закрытия, удобством ремонта, малой чувствительностью к наносам и ударам от плавающих тел, к промерзанию и пр.

К числу недостатков надо отнести:

1) отсутствие свободного габарита при открытой плотине, что делает ее мало пригодной для судоходных отверстий и

2) невозможность закрывания больших отверстий плотин. Преимущество сегментного затвора перед вальцовым при пролетах до 15—20 метров — меньший вес (на 35%—40%), зато подъемные механизмы сегментного затвора на 35% тяжелее, принимая во внимание односторонний подъем вальцового затвора.

Раздел III. Разборчатые плотины со съемными опорами затворов.

§ 1. Данные для расчета отверстий плотин ¹⁾.

В § I главы II и в § I раздела II настоящей главы приведены все элементы, необходимые для расчета отверстий плотин. Для лучшего уяснения вопроса мы коснемся здесь лишь случая расчета отверстия судоходной плотины (Поаре, Шанаона и проч.).

В этом случае имеем водослив с широким порогом при $Z_{\max} \leq 0,20$ м (0,10 с.) (практическое требование, сводящееся в сущности к предельной скорости).

$$U = 0,85 \cdot \sqrt{2g \left(Z + \frac{U_0^2}{2g} \right)} < U_{\max},$$

при чем $U_{\max} \leq 1,8$ м (6 фут.) в секунду. Если $U > U_{\max}$, то Z_{\max} можно найти из уравнения

$$Z_{\max} = \frac{U_{\max}^2 - U_0^2}{2g} \cdot \frac{1}{\varphi^2}$$

Расчет относим к моменту, когда вода устанавливается в уровне верхних площадок устоев сооружения.

§ 2. Русский тип деревянной щитовой плотины со съемными стойками.

Описание конструкции.

Общая схема плотин. Общая схема этого рода деревянных плотин та же, что и для плотин с постоянными опорными частями затворов, описанных раньше, с тою лишь разницей, что промежуточные опоры стоечного типа могут быть совершенно убраны, как и затворы. Этого типа плотины устраиваются в следующих случаях:

¹⁾ Обозначения сохранены те же, что и в § I главы II.

- 1) если в пролетах плотины по весенней воде имеется судоходство;
- 2) если условия ледохода таковы, что оставление стоек на месте грозит повреждением их;
- 3) если до подъема подпора весной через плотины производится сплав лесных материалов;
- 4) и, наконец, если весенние воды затопляют плотину.

В общем устройство плотин со съёмными стойками мало разнится от описанного в § 4, разд. II. В дальнейшем изложении будем останавливаться лишь на отличных от этого последнего типа устройствах и конструкциях.

Флутбет. Флутбеты могут быть устроены в зависимости от подпоров и высоты короля совершенно по типам § 4, раздела II. Для упора нижних концов съёмных стоек к королю прибавляется порог (а) см. черт. №№ 219 и 220. Порог прибавляется к королю заершенными болтами через 45 — 65 см (0,20 — 0,30 саж.) один от другого и упирается кроме того или в выступающие торцы упорных брусьев или же в упоры (б), прикрепленные к упорным брусьям (д). В первом случае размеры поперечного сечения упорных брусьев таковы, что верхние по течению торцы их несколько выступают над верхней поверхностью короля. Для удобства установки на место стоек перед порогом плотины по полу понура устраиваются так называемые направляющие треугольники (А), как это изображено на черт. №№ 219 и 220. Треугольники состоят из брусчатой рамы высотой, равной высоте порога. Рама прибавляется к понурному полу и королю корабельными гвоздями. В брусьях рамы с внутренней стороны вынимаются четверти (см. черт. № 221). К четвертям прибавляется досчатая обшивка в один ряд досок толщиной 3,8 — 5,0 см ($1\frac{1}{2}$ — 2 дюйма). Швы между досками проконопачиваются и заливаются пиком. Промежуток между обшивкой и понурным полом в направляющих треугольниках загружается смесью глины с чурой. У устоев и коренных быков направляющие треугольники принимают вид (В), изображенный на черт. № 220.

Порог кладется на короли с прокладкою смоленого войлока.

Стойки. В зависимости от подпора промежуточные стойки делаются из одного бруса или двух, с выемкой в брусьях пазов для закладки щитов. Для наибольшего использования материала и получения стоек меньшего веса, бревна для стоек обрабатываются с обливинами (см. черт. № 222). Нижним концом стойки входят в промежутки между смежными направляющими треугольниками и упираются в порог плотины, а верхним концом упираются в прогон переходного моста (черт. № 223). Стойки опускаются на место и вытаскиваются с переходного моста при помощи передвижных воротов описанных ранее конструкций ¹⁾. Для привязывания к стойкам снастей при маневрировании ими служат крючья, ввинчиваемые по концам стойки (черт. № 223). Если при сборке плотины на пороге имеется глубина, не позволяющая пройти по порогу, то для направления нижнего конца стойки, за нижний крюк ее зацепляют железное кольцо, привязанное на веревку, которое легко высвобождается с крюка, когда стойка займет нужное положение. Верхние концы стоек до опускания нижних рядов щитов временно слегка прибаваются или привязываются в нужном положении к прогону. После погружения нижнего одного или двух рядов щитов — стойки держатся в должном положении напором воды. Иногда укрепляются верхние концы стоек съёмными болтами к отрезкам угольников, укрепленным в соответ-

¹⁾ См. § 4, разд. II, главы III.

ственных местах на прогоне или же удерживаются крючьями, прикрепленными к прогону и зацепляющимися за проушины, прибитые к стойке (черт. №№ 224 и 225). Коренные стойки прикрепляются к лицевым стенам устоев и быков совершенно так же, как и в плотинах с постоянными стойками.

Переходный мост. Если в пролетах плотины по весенней воде должно происходить судоходство или же, если плотина затопляется весенней водой, то переходный мост делается разборным. В этом случае конструкция его должна быть возможно проще и отдельные части возможно легки для удобства их передвижения при разборке. Для достижения возможной легкости переходного моста следует:

- 1) отверстия плотины между коренными опорами делать наименьшие,
- 2) для облегчения работы переходных балок, а следовательно и их веса, подпирают стойки съемными подкосами, если это не представит затруднений по глубине воды при сборке плотины,
- 3) предназначать переходный мост исключительно для пешеходов.

Как на пример устройства плотины со съемными стойками и разборным переходным мостом можно указать на нижнюю плотину р. Тихвинки на Тихвинской водной системе (так называемая «Херсонская» плотина в 12-ти км ниже г. Тихвина). На черт. №№ 226—229 изображено устройство разборного переходного моста этой плотины. Плотина имеет четыре пролета в 7,45 м (3,5 сажени) каждый между двумя устоями и тремя быками.

Переходный мост шириною в 2,13 м (1 саж.) состоит из двух прогонов А и В с поперечным настилом из досок толщиной 7,6 см (3") (№№ 226 и 227). Впереди моста имеется свободный прогон (холостая балка С) с прибитым к нему брусом с угольником для катания колес барана (катучего ворота). К балке В прибит такой же брус, а к балке А прибит тоже брус. Этот последний брус вместе с брусом, прибитым к упорной балке (В), служит для удержания на месте досчатого настила, который гвоздями не прибивается. Для передачи давления от стоек на оба прогона против мест расположения стоек вставляются между балками упоры (Д) (черт. № 228). Все три балки укладываются в особые вырубki, сделанные в лицевых стенах быков и устоев. Для сохранения взаимного расположения балок, между ними загоняются колодки (а) и (б). Для катания барана по быкам укладываются колодки (в) и (г) с прибитыми к ним брусками с угольниками (черт. № 229). По укладке балок и колодок прилегающие к торцам балок части устоев и быков затрамбовываются землей. По балкам укладывается без гвоздей настил. По настилу с нижней стороны прикрепляется шурупами разборный паранет из брусьев только в пределах отверстий плотины. Осенью при разборке плотины (плотина предназначена лишь для судоходных целей) весь переходный мост разбирается и складывается на устоях плотины. По спаде высокой воды весной мост восстанавливается и плотина собирается.

В межень в сухие годы подпор в плотине достигает 3,83 м (1,8 саж.), при чем флютбет и сливной пол обнажаются. Стойки плотины подпираются тогда временными подкосами.

Если в разборке переходного моста надобности нет, то он устраивается так же, как и в плотинах с постоянными стойками, с тою лишь разницей, что прогоны перекрывают весь пролет отверстия плотины, не имея промежуточных опор. Такие мосты могут служить, конечно, лишь для пешеходов и служебных надобностей.

Если условия расположения плотины таковы, что через нее необходимо устроить проезжий мост тяжелого типа, напр., городской, то мост устраивается независимо от опорных частей для верхних концов стоек. Пример такой плотины имеется в г. Череповце через р. Ягорбу (приток р. Шексны). На быках и устоях плотины устроен мост под обыкновенную дорогу с фермами Гау. На выступах в быках и устоях, расположенных ниже проезжего моста, устроен служебный мостик, который служит и упорным мостом для верхних концов съемных стоек. Этот упорный мостик в каждом пролете состоит из нескольких брусьев-прогонов, образующих сплошной брусчатый помост.

Плотины со съемными стойками требуют большего времени для разборки и сборки по сравнению с плотинами, имеющими постоянные стойки, зато имеют то преимущество, что ледоходом пролетные части вовсе не повреждаются. Повреждаются лишь коренные стойки, но и эти повреждения незначительны, если непосредственно выше усовика быков располагать ледорезы, как это устроено на плотинах Тихвинской системы. Через плотины этой системы весной до сборки их пропускается рассыпной сплав дров. Как упоминалось уже раньше, для предохранения стен устоев и быков от повреждений при ледоходе и сплаве, стены до соответствующей высоты обшиты пластинами. Во избежание серьезных повреждений плотин возможно допустить через них лишь сплав дров; сплав бревен ни в коем случае допущен быть не может.

Для горных рек с обильными и неожиданными паводками, плотины устройства описанного в настоящей и предыдущей главе неприменимы. Применение дерева в этих условиях, как основного материала для конструкций, затруднительно и приходится прибегать к комбинированным типам, напр., устраивая на деревянном флютбете затворы по типу Тенара или Шанона.

Расчеты.

В отношении расчетов прочных размеров частей деревянных плотин со съемными стойками следует руководствоваться изложенным в § 4 разд. II, гл. III.

Случай, когда съемная стойка подпирается съемным подкосом. Черт. № 230.

При расчете размеров стойки необходимо принимать ослабленное сечение стойки А в месте врубки подкоса. Кроме того, имея в виду, что по условиям постановки подкоса в воде, невозможно достигнуть достаточной тщательности в сопряжениях, следует подкос располагать ниже центра давления. Подкос делается без шипов и загоняется в вырубку в стойке и упорном бруске или упоре сбоку. Обычно он ставится в собранной плотине при понижении нижнего горизонта в межень или же при закладке нижних рядов щитов, если позволяет это сделать глубина на водобойном полу. Вообще же лучше избегать проектирования таких подкосов.

§ 3. Плотина Поаре.

Описание конструкции разборчатой части плотины.

Спицевые затворы. В 1834 году французский инженер Поаре сделал крупный шаг в разрешении вопроса об устройстве плотин, которые легко убились бы при высоких водах, когда судоходство происходит в реке при естественном ее состоянии, и позволяли бы управлять горизонтом воды в реке, пропуская паводки без значительного подпора.

С устройством на реке плотины Поаре все отверстие плотины от одного берега до другого может быть открыто для судоходства.

В первоначальном своем виде плотина системы Поаре устроена была следующим образом (черт. №№ 231 — 236).

На каменном флютбете укрепленa деревянная рама, состоящая из двух брусьев с поперечными распорками, отстоящими одна от другой на 1,0 м.

Один из брусьев рамы выступает над поверхностью флютбета в виде порога (верховой брус).

В брусьях врезаны и укреплены чугунные подшипники: передний и задний.

Ось каждой пары подшипников отстоит от каждой соседней на одно и то же расстояние.

В подшипники вставлены своими круглыми горизонтальными шипами железные фермы, скованные из брускового квадратного железа толщиной 4 см.

Фермы вращаются на горизонтальных осях, отстоящих на 1,0 м одна от другой, могут быть поставлены вертикально, а могут быть уложены на флютбет, не выступая при этом выше переднего деревянного порога (верховой брус).

Ближайшая к береговому устью ферма входит при укладке в особо устроенную в устье нишу.

Поднятые в вертикальное положение фермы скрепляются между собой железными полосами с вилками, охватывающими верхние поперечины ферм и упирающиеся на них в болт, связывающий подкос фермы с верхней поперечиной.

Полосы эти служат упорным брусом для затворов, состоящих из сплошного ряда брусков, так называемых «спиц», упирающихся другим концом в верховой порог.

Спицы имеют вверху рукоятку для подъема их. Поверх ферм укладывается деревянный мостик из отдельных коротких звеньев, перекрывающих лишь один пролет между фермами.

Звенья состоят из досок, сплитых внизу с обеих сторон брусками, удерживающими звено в надлежащем положении.

Подъем и спуск ферм производится при помощи цепей, прикрепленных к проушинам болтов, связывающих подкос с верхней поперечиной фермы.

Разборка плотины начинается от той коренной опоры (береговой), в которой устроена упомянутая ниша для помещения ближайшей к ней крайней фермы.

Сначала снимаются спицы, затем доски помоста и соединительные полосы, скрепляющие фермы, и наконец одна за другой опускаются на флютбет фермы.

Сборка идет в обратном направлении.

Сначала поднимаются одна за другой фермы от крайней коренной опоры (без ниши), скрепляются полосами, устанавливается помост, с помоста поднимается следующая ферма и т. д.

В первоначальном применении фермы системы Поаре имели вес не больше 165 кг (10 пудов) при высоте не больше 2 м, спицы имели вес до 16 кг.

Ферма Поаре оказалась очень дешевой конструкцией и недорогой в эксплуатации.

Маленькие фермы не требуют никаких механических приспособлений: все могут сделать вручную 3 человека.

Эти качества конструкции способствовали широкому ее применению, дальнейшим разработкам и усовершенствованиям с применением при этом механических приспособлений; последнее не мешало и не мешает ферме Поаре успешно конкурировать с другими удачными конструкциями, появившимися позднее.

Применение ферм Поаре для более значительных подпоров вызывает увеличение веса спиц и трудность маневрирования ими.

Во Франции стремились избежать чрезмерных поперечных сечений спиц повышением допускаемого напряжения дерева на изгиб, доводя его до 170 км/см^2 . Но это вызывало сильный прогиб спиц и нередкие поломки при эксплуатации.

Стремление придать спице прямоугольное сечение с поворотом большей стороны прямоугольника в сторону течения воды не дало положительных результатов: спица при установке под влиянием течения воды поворачивалась широкой стороной к фермам.

Приготовление спиц в виде бруса равного сопротивления дало более удачные результаты. Так, при длине в 3,75 м и подпоре в 2,50 м спицы имеют ширину и толщину внизу 9,9 см, сверху 9 см и в опасном сечении 12,1 см.

Максимальное напряжение при этом не превышает 87 кг/см^2 .

Маневрирование со спицами описанных размеров все же затруднительно, в силу чего приходится прибегать к различным приспособлениям.

Куммер предложил устройств поперечины, служащей для упора спиц сверху, позволяющее ей поворачиваться на 90° относительно вертикальной оси, что достигается шарнирным соединением поперечины с одной из ферм.

Другим концом поперечина упирается в уступ в вырезе особого цилиндра, приделанного к передней стойке соседней фермы (см. черт. №№ 237 и 237а).

При вращении цилиндра упор поворачивается на 90° , конец поперечины освобождается, поперечина под давлением спиц поворачивается, спицы падают и вынимаются из воды, будучи заранее связаны между собой канатом.

Опыт показал, что описанный прием хорош лишь при очень опытном служебном персонале, так как маневры сопряжены с некоторой опасностью, ибо мостик находится выше рукояток спиц и маневрировать неудобно.

Черт. № 238 ¹⁾ изображает приспособление Guillemain'a, позволяющее при открытии отверстия плотины не вынимать спиц, а отгибать их в сторону нижнего бьефа, приподняв конец спицы над порогом, для чего применяется кран. Откинутаая течением спица, благодаря устройству крюка, вращается на круглой поперечине, связывающей фермы.

В минуту можно вынуть таким образом минимум 5 спиц, а чаще до 8 шт. при длине спиц до 4 м.

Спицы применяются в настоящее время большой длины и веса.

Так, длина до 5,00 м при весе свыше 40 кг является уже обычной.

Имеются примеры спиц весом 120 кг при толщине 22 см, ширине 30 см. и длине 4,34 м (р. Big Sandy C. Америка).

Но такой вес спиц требует механических приспособлений для маневров.

Применение спиц столь больших размеров позволяет сохранять ценное качество спицевых затворов: быстроту открытия отверстия в случае паводка.

Спицы столь больших размеров применяются в местах, где дешев лес и где эксплуатация не встретит долгое время затруднений при замене изно-

¹⁾ См. также черт. №№ 61 и 62.

сившихся и поломавшихся спиц новыми. Однако при подпорах до 3,00 м спицевые затворы всегда предпочтительнее щитовых для плотин на реках с внезапными паводками.

Спицы в межень плотно прижимаются одна к другой (в первое время по спаде высоких вод могут стоять редко одна от другой в виду большого расхода, требующего при одном и том же подпорном горизонте больших отверстий для прохода воды), но все же щели между спицами пропускают воду.

Может оказаться, что расход воды в щели превысит имеющийся меженный расход. Тогда горизонт верхнего бьефа станет падать, что недопустимо.

Следовательно, спицевые затворы применимы лишь в случае таких меженных расходов в реке, которые позволяли бы удерживать горизонт на уровне подпорного, невзирая на прохождение воды в щели между спицами.

Расход воды чрез щели легко определить по обычным формулам гидравлики (см. § 7, разд. III).

Если ледоход в реке наступает неожиданно, то спицы могут смерзнуть между собой, чего никак нельзя допустить, ибо открытие плотины может стать почти невозможным без повреждений конструкций.

Пример — разрушение плотины на р. Мэузе у Вердена осенью 1875 года. Следовательно, в подобных случаях необходимо избегать применения спиц.

Черт. № 239 изображает форму Поаре при спицевых затворах.

Шторы Камере. Потеря воды чрез спицевое заграждение заставила искать более подходящих конструкций, позволявших бы достигнуть большей плотности закрытия. На р. Марне было применено новое устройство в виде шторы из полотна с деревянными узкими планками.

Однако при подъеме шторы происходило сильное ее перекашивание, затруднявшее маневры.

В 1880 г. инж. Камере применил шторы своей конструкции на плотине Port-Villez на р. Сене при подпоре в 2,33 м (см. черт. №№ 240—242).

Шторы Камере представляют собой полотна, состоящие из шандоров, связанных двумя линиями шарниров.

Каждое полотно снабжено сверху по линиям шарниров петлями для подвешивания, а внизу — чугунным полым цилиндром с ребордами.

Цилиндр носит название «башмака навертывания».

Башмак и его реборды имеют очертание поверхности по архимедовой спирали (в поперечном сечении).

В башмаке посреди его длины устроена канелюра, куда входит бесконечная цепь, охватывающая полотно с обеих сторон.

При круговом движении этой цепи снизу вверх, башмак, захватываемый трением цепи, поворачивается снизу вверх и полотно сворачивается постепенно в трубку, после чего поднимается над фермами и может быть убрано.

Каждое полотно подвешивается к вертикальной раме, установленной на 2-х фермах.

Рама снабжена посредине стойкой, поддерживающей два блока, чрез которые перекидывается бесконечная подъемная цепь (черт. № 243).

Цепь при помощи нажимов может быть удержана в любом положении на блоках.

Подъем и спуск полотна производится с помощью катушек лебедки или ворота.

Лебедка закрепляется на месте крюком за верх рамы, поддерживающей штору.

По сцеплении цепей со шкивами лебедки движением рукоятки верхней цепи сообщается большее, а нижней меньшее поступательное движение и штора сворачивается.

Поднятая штора может быть убрана вместе с рамой, поддерживающей штору, для чего служит тележка с наклонной рамой (см. черт. № 244).

Затвор Камере отличается плотностью и пригодностью для регулирования подпорного горизонта при колебании расходов, для чего штору наворачивают или распускают.

Последнее время штора Камере почти вовсе не применяется, что объясняется некоторыми ее недостатками, как, напр.:

- 1) трудность сборки,
- 2) необходимость тщательной обработки брусьев,
- 3) необходимость применения сложных механических приспособлений и
- 4) перекашивание штор, мешающее свертыванию соседних затворов.

В настоящее время штора Камере почти вытеснена щитами Буле.

Щиты Буле. Щиты Буле имеют высоту обычно 0,70 м и до 1,00 м, а ширину, равную расстоянию между внутренними краями опорных полок передней стойки фермы.

Таким образом, щиты Буле устанавливаются в несколько рядов по высоте ферм.

Верхний ряд щитов обыкновенно снимается вручную, для чего верхние щиты снабжаются 2-мя рукоятками каждый.

Закрытие отверстий щитами Буле обходится на 25% дешевле закрытия шторами Камере.

Щиты Буле позволяют держать подпорный горизонт без повышения при возрастании расходов: для этого снимается потребное число щитов.

Черт. №№ 245 и 246 изображают щиты Буле для 6 ти плотин р. Сев. Донца, выстроенных к 1914 году. Щиты различных ярусов имеют разную толщину в зависимости от выдерживаемого давления воды (от 4 до 10 см.).

Щиты Буле применены на 6 ти плотинах р. Сев. Донца, на Кочетовской плотине р. Дона, на 2-х плотинах р. Оки (из них одна, — Белоомутская, разрушилась), на 3-х новых плотинах р. Шексны и намечены на строящихся плотинах на Шексне и Дону и всюду показали водонепроницаемость щитовых затворов.

Применение щитов Буле вызывает необходимость более солидной фермы Поаре, ибо здесь все давление передается на ферму.

Однако разница в весе ферм при щитах Буле и при спицах в действительности уменьшается, так как при спицевых затворах часто фермам приходится придавать более солидную конструкцию, чем это вызывается статическим расчетом: этого требуют условия подъема ферм во время эксплуатации, когда фермы могут быть занесены насосами.

Для поднимания и опускания щитов служит специальный кран.

Кран снабжается цевочной рейкой, к концу которой приделывается крюк для захватывания щита.

Щит, поднятый рейкой до уровня платформы, подхватывается особым крюком с подвижным блоком, подвешенным к крану, которым и укладывается на тележки.

Верхние щиты, устроенные из одиночных досок, опускаются и поднимаются вручную.

Для крана и тележек поверху ферм укладывается 2 пути разной колеи, при чем путь для тележек помещается внутри колеи для крана.

Кран должен свободно проходить над груженными тележками.

При маневрах весь пролет разделяется на несколько участков по числу кранов.

Тележки последовательно нагружаются щитами и затем одновременно отвозятся в сарай для щитов, проходя при этом под кранами. В сарае тележки разгружаются и для нагрузки подаются порожние тележки.

Для опускания щитов тележки со щитами подаются на плотину.

Кран устанавливается над закрываемым пролетом и закрепляется специальными захватами на фермах.

Нижний щит захватывается подвижным крюком, снимается с вагонетки и надевается на крюк рейки.

После этого рабочие начинают опускать щит, вращая рукоятки.

Когда опущены все щиты, кроме верхнего, кран переходит к соседнему пролету.

Черт. №№ 247—249 изображают плотину Поаре со щитами Буле, черт. №№ 250—258 изображают схематически фермы Поаре.

Открытие отверстия плотины при щитах Буле требует значительно большего времени, чем при спицевых затворах ¹⁾, вследствие чего при быстро наступающем паводке и значительном подпоре от фермы Поаре вообще приходится отказаться (большой подпор препятствует применению спил).

Типы ферм Поаре. Из помещенных выше конструктивных и схематических чертежей ферм Поаре видно, что в позднейшей практике ферма Поаре приняла трапециoidalную форму чаще всего при трех панелях.

Число панелей зависит, конечно, от высоты фермы.

Следовательно, число панелей может дойти и до 4-х, а также опуститься до 2-х.

При этом раскосы ферм могут быть сжатые, а также вытянутые.

Пример фермы со сжатыми раскосами — ферма для плотин на р. Сев. Донце (черт. №№ 247—248).

Фермы новых Шекснинских плотин имеют вытянутые раскосы (снизу вверх).

Иногда устраиваются фермы с перекрестными раскосами (черт. №№ 258, 258а).

Такие фермы отличаются большей жесткостью, но неудобны в эксплуатационном отношении: их труднее поднимать со дна, когда фермы занесены наносами, в виду более частой сетки.

Фермы при спицевых затворах расставляются более редко, нежели при щитовых затворах, в среднем, примерно, в $1\frac{1}{2}$ —2 раза реже.

И в настоящее время еще устраивается съемный достатый мостик по фермам Поаре, хотя чаще применяют металлическую конструкцию.

Иногда мостик одним концом шарнирно прикрепляется к соседней ферме и при укладке ее на флютбет ложится вместе с нею, а при подъеме сразу устанавливается на место (см. черт. №№ 259, 260).

Фермы при укладке на флютбет ложатся одна на другую.

Следовательно нельзя поднять отдельную ферму по выбору, а необходимо вести подъем от крайней фермы.

¹⁾ Плотина в Либнице при подпоре 3,56 м и пролете 65,00 м требует $4\frac{3}{4}$ часа для уборки всех 260 щитов при работе 2-х кранов.

Точно также опускание ферм надо вести с крайней фермы, падающей в нишу берегового устоя.

Стремление управлять каждой фермой в отдельности (ремонт, осмотр) привело к конструкции фермы, показанной на черт. № 261 (затворы спицевые).

Здесь фермы расположены одна от другой чрез 3,00 м и не имеют нижнего пояса, так что при длине в 3,50 м перекрывают соседнюю ферму на 0,50 м, не мешая независимому подъему ее.

Упомянутое расстояние в 3,00 м. не является необычным для ферм Поаре при спицевых затворах, где на ферму передается около $\frac{1}{3}$ от всего давления воды, а около $\frac{2}{3}$ передается на порог флютбета.

В плотине в Мельник введено другое усовершенствование, благодаря которому достигнуто было 25% экономии в весе ферм.

Вместо того, чтобы ставить фермы в расстоянии 1,25 м друг от друга (ширина щита Буле), фермы ставятся чрез 3 щитовых пролета, т.е. чрез 3,75 м, а для упора щитов служат специальные стойки.

Вся система — ферма, две стойки и часть мостика, приходящаяся над ними — соединена в одно целое при помощи шарниров и составляет одно отдельное звено плотины, укладываемое на дно флютбета (черт. № 260).

Инженер Томас, из личного опыта убедившись, что плавающие карчи, бревна и ветви сильно мешают эксплуатации плотин с фермами Поаре, принял в дальнейших проектах расстояние между фермами в 6,10 м, при чем полагал возможным довести это расстояние до 10,00 м, что позволяет вынимать и укладывать фермы независимо одну от другой.

Фермы при этом получились солидные и жесткие, мало подверженные повреждениям.

Оригинальный тип фермы предложен инж. Н. П. Пузыревским (см. черт. № 262).

Задняя стойка и распорки, включая нижнюю, полностью отсутствуют.

Ферма состоит из передней стойки, имеющей сверху горизонтальную консоль, служащую основанием для служебного мостика.

К передней стойке внизу приклепан передний шип фермы.

Сзади ферма поддерживается двумя подкосами, сходящимися внизу у заднего шипа.

Вся ферма в целом производит впечатление жесткой конструкции.

К сожалению, эти фермы, приготовленные для испытания и частичного применения на Белоомутской плотине, до сего времени находятся на берегу, в виду разрушения плотины.

Не желая ушивать ферму поверху увеличением длины верхней распорки, устраивают консоль, чтобы сделать более свободным передвижение по фермам.

Пример — фермы плотины на р. Сев. Донце (черт. № 247).

Маневры с фермами. Маневры с фермами в различных плотинах производятся несколько различно.

Опишем маневры с фермами Донской плотины.

Каждая ферма снабжена зажимом, которым она прикрепляется к цепи, проходящей по всей длине плотины.

Верхняя подушка зажима может быть откинута и цепь вынута из зажима.

При укладке ферм цепь закрепляется в зажиме каждой укладываемой фермы, при чем одновременно ложится до 5 ферм.

Чрез каждые 30 пролетов цепь имеет замыкающие звенья, которыми делится на отдельные участки.

Подъем ферм производится следующим образом.

На устое без ниши устанавливается лебедка, имеющая барабан с навитым на него стальным канатом.

Конец проволоочного каната снабжается крюком для захватывания звеньев цепи.

Подъем начинается с первых 30 ферм от устоя без ниши.

Конец цепи соединяется с захватом каната и двое рабочих навивают канат.

Когда первая ферма примет вертикальное положение, она соединяется временным скреплением с устоем без ниши.

При этом остаются навесу 2-я, 3-я, 4-я, и 5-я фермы.

Соединив первую ферму с устоем, укладывают настил на первом пролете (служебный мостик) и отвинтив винт зажима на первой ферме, начинают подъем следующих ферм.

Дойдя до первого замыкающего звена цепи (через 30 ферм), отвинчивают звено, соединяют конец проволоочного каната со вторым участком цепи и начинают подъем следующих ферм.

При этом на последней и предпоследней из поднятых ферм устанавливается деревянная рама с блоком, служащая для поддержания проволоочного каната.

По окончании подъема ферм устанавливаются рельсы, а отдельные участки цепи, разъединенные замыкающими звеньями, укладываются на тележки и увозятся в сарай для осмотра и обтирки.

Укладка ферм производится в обратном порядке.

Цепь укладывается по настилу плотины, после чего снимаются и увозятся рельсы, а конец цепи закрепляется в зажиме фермы, ближайшей к устью с нишей.

Временное соединение между последней и предпоследней фермой снимается.

Конец последнего участка цепи соединяется с крюком каната и начинается опускание ферм; при этом цепь движется в установленных роликах.

Когда зажим опускаемой фермы отойдет от зажима соседней фермы, стоящей вертикально, на расстояние 2,94 м (принятая длина цепи между фермами, определяющая число ферм, одновременно поднимаемых или опускаемых), зажим второй из этих ферм захлопывается и подушки его свинчиваются, имея между собой цепь.

Временная связь и настил между 2-мя последними вертикальными фермами снимаются и ферма начинает опускаться под влиянием собственного веса и веса остальных ферм, находящихся навесу.

Лебедка поддерживает опускающиеся фермы.

Когда спущены первые 30 ферм, к последнему участку цепи присоединяют посредством замыкающего звена и предпоследний участок (считая от устоя без ниши), и начинается опускание следующих 30 ферм.

Расчет фермы Поаре при спицевых затворах. В этом случае давление передается на ферму чрез верхний узел, т.е. ферма получает лишь около $\frac{1}{3}$ давления воды на спицы, расположенные на протяжении пролета между фермами. Определив из уравнений статики реакции опор и зная силу, приложенную к верхнему узлу фермы, находим по диаграмме Максвелла усилия во всех стержнях фермы. Тот же результат получим аналитически, применяя уравнения статики к каждому узлу фермы ($\sum X = 0, \sum Y = 0$).

По найденным усилиям подбираем сечения стержней фермы, принимая поперечные размеры с некоторым запасом, что заставляют делать условия эксплуатации.

В случае возможности занесения ферм, уложенных на флютбете, необходимо особенно обратить внимание на достаточную сопротивляемость фермы в направлении, перпендикулярном к ее плоскости.

Расчет спиц не представляет никаких затруднений, ибо все сводится к расчету балки, лежащей на двух опорах и нагруженной нагрузкой по закону треугольника.

Расчет фермы Поаре при шитах Буле и шторах Камере.

Расчет фермы Поаре начинаем с определения высоты фермы при заданной отметке порога флюتبета плотины.

Порог этот устраивается с таким расчетом, чтобы он являлся прикрытием для ферм.

Следовательно, положение оси фермы находим обратным путем, вычитая из отметки порога плотины, установленной гидравлическим подсчетом при определении отверстия плотины, соответствующую величину возвышения уложенных ферм над осью их вращения. Порог при открытой плотине не должен мешать судоходству.

Схема № 263 изображает уложенные фермы.

Искомая величина $T = OC + m \dots$, где m берется обычно около 0,06 м — 0,08 м.

d — толщина передней стойки фермы, равная 0,08 м — 0,13 м,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{a}, \quad \operatorname{sn} \varphi = \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}}$$

Высота фермы L складывается из величины T , глубины K над порогом, нам всегда известной, и превышения верха фермы над подпорным горизонтом, каковое превышение обычно берется в 0,50 м — 0,60 м.

Следовательно, величина OC может быть найдена из уравнения:

$$OC = (OC + m + K + 0,50) \operatorname{sn} \varphi.$$

или

$$OC = (OC + K + 0,58) \operatorname{sn} \varphi,$$

откуда

$$OC = \frac{K + 0,58}{1 - \operatorname{sn} \varphi},$$

где

$$\operatorname{sn} \varphi = \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}}$$

$$\text{Величина } T = m + OC = 0,08 + \frac{K + 0,58}{1 - \operatorname{sn} \varphi} \text{ метров.}$$

При известной величине T находим высоту фермы $L = T + K + 0,50$ м, где K — глубина верхнего бьефа на пороге флюتبета.

Ширина B фермы понизу берется в зависимости от высоты L фермы.

Фермы небольшой высоты имеют отношение $\frac{B}{L} = 0,60$, при значительных высотах фермы $\frac{B}{L} = 0,83$.

Таблица данных для проектирования Фери Поаре.

	Высота Н фермы.	Полуп.	Запасная горизонт. тол. воды.	В н е т р я.				Отношение высоты к ширине понизу.	Уклон перед-ней грани.	Уклон задне-й грани.	В м е т р ах.				Расстояние между фермами.
				Ширина поверху.	Ширина понизу.	Ширина мостика.	Ширина колен.				Высота порога.	Глубина воды на пороге.			
По Зброжеку		—	1-1 1/2 м.		—	—	—	От 1,66 до 2,25	—	—	—	—	—	—	
р. Шексна Н = 3,02 с. проект 1912 г.	4,45	3,24	0,40	2,45	4,15	—	—	1,55	1/6	1/2,5	1,185	1,725	1,28	—	
р. Дон Н = 3,08 с. проект 1911 г.	6,58	4,27	0,35	1,50	4,40	2,00	1,00	1,50	1/32	1/2,7	0,85	1,07	1,42	—	
р. Ока Н = 2,91 с.	6,23			1,295	4,10	1,67	—	1,51	1/15	1/2,6	1,00	—	1,42	—	
р. Сев. Донец Н = 3,37 с.	7,19	3,52	0,58	1,25	4,50	1,50	—	1,60	1/6	1/3,8	1,00	2,24	1,42	—	
Suresnes на Сене	5,90	3,27	0,40	1,10	3,60	2,32	—	1,64	1/8,5	1/5,7	1,00	1,30	1,25	—	
Port'a l'Anglais	4,80	2,73	0,60	1,20	3,00	2,10	—	1,68	—	—	—	1,37	1,10	—	
Brahe	4,00	2,00	0,50	1,30	2,40	—	—	1,67	—	—	0,40	1,20	—	—	
Kenty (Oder)	3,95	2,10	0,40	1,50	2,25	—	—	1,75	—	—	0,45	1,00	—	—	
Fulda	3,00	2,00	—	1,40	2,20	—	—	1,36	—	—	0,50	0,40	—	—	
Liebachitz	5,805	3,90	—	2,96	3,80	2,55	0,5	1,53	1/30	—	1,00	0,60	1,28	—	
Epineau	2,11	1,60	—	1,30	1,30	—	—	1,41	верная					—	
Mosel	2,40	1,80	—	1,10	1,50	—	—	1,50	—	—	—	0,20	—	—	
Ablon	2,97	1,84	—	1,40	2,07	—	—	1,4	—	—	—	0,56	—	—	
Martot	3,32	3,00	—	1,37	2,48	—	—	1,31	—	—	—	0,60	—	—	
Meuse belge	3,94	2,50	—	1,45	2,55	—	—	1,34	—	—	—	0,60	—	—	
Moulin rouge	2,48	1,00	—	0,95	1,50	1,76	—	1,38	—	—	—	0,80	—	—	
Port-Villex 2,54 см.х.	5,42	2,35	—	1,30	4,50	2,70	—	1,18	—	—	—	2,35	—	—	
р. Москва	2,80	2,3-3,1	—	0,60	2,20	—	—	1,73	—	—	—	—	—	1,28	

Ширина поверху фермы должна предусматривать возможность устройства хотя бы общего пути для крана и тележки.

Если же кран и тележки имеют отдельные пути, то лучше всего их расположить один внутри другого: напр., кран имеет путь 1250 мм, а тележки 750 мм. Тогда ширина поверху будет 1,50 м.

Часть настила и перильная стойка при этом могли бы поместиться на небольшой консоли (см. черт. № 247 фермы плотины на р. Сев. Донце).

При назначении расстояния между фермами необходимо помнить, что чем меньше это расстояние, тем дороже обойдется металлическая часть плотины.

Щиты Буле при расстоянии между фермами свыше 1,45 м получились бы слишком тяжелыми, каковое расстояние при щитах Буле лучше не увеличивать далее; 1,20 м и 1,25 м берут чаще, нежели 1,45 м.

Следующий вопрос, возникающий при конструировании — это число панелей.

Число панелей зависит от высоты фермы и колеблется от 2-х до 4-х.

При высоте фермы свыше 4,50 м, от 2-х панелей обычно отказываются, так как целесообразнее разбить ферму на 3 панели.

При очень высоких фермах расчет может показать целесообразность разбивки фермы на 4 панели.

Если при 4-х панелях стержни фермы получаются по расчету слишком легкими, необходимо отказаться от 4-х панелей и перейти к трем.

При разбивке необходимо стремиться поставить в одинаковые условия работы все участки передней стойки.

При этом, правда, получится чрезмерно большая верхняя панель, но это легко изменить, сдвинув распорки несколько вверх, чтобы конструкция приняла более рациональный вид.

Уклон передней стойки к вертикали принимается в практике от нуля до $\frac{2}{7}$.

Так, Мозельская плотина имеет вертикальную переднюю стойку и Сюрен-кая — с уклоном $\frac{2}{7}$ к вертикали.

Среднее значение уклона равно $\frac{1}{7} - \frac{1}{10}$.

В каждом отдельном случае необходимо произвести подсчеты веса фермы при различных углах наклона передней стойки к вертикали, приняв сначала вертикальную переднюю стойку и дойдя чрез каждые 5° до положения, когда вертикальной является задняя стойка фермы. При этом постоянными являются: высота фермы, ширина поверху и ширина понизу.

Проделав расчет для вытянутых и сжатых раскосов, находим минимальный вес фермы (см. черт. №№ 264—265).

При этом надо учитывать также меняющиеся условия работы подшипников фермы. Необходимо помнить, что при вертикальной передней стойке затруднительна установка щитов, которые легче укладываются при наклонном положении передней стойки.

Когда ферма окончательно выбрана и рассчитана, полезно сравнить ее вес на 1 пог. метр плотины с таковым же для существующих плотин: сравнение покажет степень экономичности намечаемой фермы.

Для этого имеем таблицу:

Наименование сооружений.	Высота фермы в метрах.	Вес одной фермы в тоннах.	Расстояние между фермами в метрах.	Вес ферм на 1 п. м плотины в тоннах.
р. Сев. Донец	7,19	1,500	1,423	1,054
р. Дон	5,67	1,510	1,45	1,041
р. Молдава	6,00	1,700	1,25	1,360
р. Ока	6,30	1,294	1,42	0,911
р. Ока	6,65	1,490	1,42	1,049

Уменьшение веса ферм при полной жесткости конструкции крайне желательно, ибо это облегчает маневры с фермами, одновременно удешевляя 1 пог. метр. плотины.

При расчете напряжения в фермах от давления воды необходимо допустить возможность повышения подпорного горизонта от волнения, что внесет лишних 0,08 м — 0,15 м напора.

При этом предполагаем отсутствие воды в нижнем бьефе если это может иметь место.

Основное допускаемое напряжение для литого железа берем $R = 1000 \text{ кг/см}^2$, а для стальных шипов фермы — 1200 кг/см^2 . В сжато — вытянутых частях $R_2 = \left(1 - \frac{1}{3} \frac{s_{\min}}{s_{\max}}\right) \cdot R$, по Вейрауху. Так как знаки усилий меняются лишь несколько раз в году (вертикальная нагрузка при маневрировании со щитами), то уменьшения величины R можно не вводить ¹⁾.

Задняя нога должна быть рассчитана на продольный изгиб в плоскости нормальной к плоскости ферм при коэффициенте уменьшения допускаемого напряжения, найденном на основании начала наименьшей работы деформации.

Другие сжатые части должны быть рассчитаны с принятием коэффициента уменьшения основного допускаемого напряжения по таблицам Ясинского.

Напряжение в передней ноге должно быть найдено от совместного действия изгиба и осевого усилия. Влияние собственного веса фермы на напряжение в стержнях незначительно, в силу чего им можно пренебречь при наших допущениях (см. выше).

При расчете нижней распорки необходимо иметь в виду дополнительные изгибающие моменты, вызываемые приложением опорных реакций не в теоретических нижних узлах, а в середине части шипов, соприкасающейся с поверхностью соответственного подшипника (см. черт. №№ 266—267).

Назовем $b + \frac{c}{2}$ через m , а $b_1 + \frac{c_1}{2}$ через m_1 .

$DK = t$ — равна теоретической (расчетной) длине распорки.

Тогда $N(m_1 + m + t) = B(t + m) - A \cdot m$

$N_1(m_1 + m_1 + t) = A(t + m) - B \cdot m_1$.

¹⁾ По опытам Wöhler'a, послужившим для определения R_2 , железные бруски ломались при смене напряжения от $+ 2400 \text{ кг/см}^2$ до $- 2400 \text{ кг/см}^2$ после 56430 перемен силы.

Наибольший момент в точке Н равен $M_H = N \cdot m_1$ и наибольший отрицательный момент в точке D равен $M_D = N_1 \cdot m$, при чем N_1 и N должны быть найдены из вышенаписанных уравнений, где A и B — силы, вырывающая передний и придавливающая задний подшипники.

По величине сила A равна реакции опоры A , а B — вертикальной реакции опоры B .

Расчет начинают с определения реакций фермы при давлении воды на щиты.

Очевидно, что $A \cdot t = P \cdot f$, откуда $A = \frac{P \cdot f}{t}$ (черт. 268). Первые 2 уравнения статики $\Sigma X = 0$ и $\Sigma Y = 0$ дадут величины горизонтальной и вертикальной проекций реакции B , а именно:

$$P \cdot Cs \alpha = B_x \text{ и } A + P \sin \alpha = B_y; \quad B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}.$$

Заменив сплошную силу давления воды сосредоточенными силами в узлах передней стойки и зная реакции опор, легко построим диаграмму Максвелля и найдем напряжения в частях формы. При расстоянии между фермами, равном a метр. (черт. № 269), находим узловые давления по следующим схемам (черт. №№ 270 — 272).

По этим же схемам находим и максимальные изгибающие моменты в каждом пролете V_1 , V_2 и V_3 передней стойки.

Вертикальная нагрузка должна быть учтена отдельно. Таковой являются: вес фермы, служебного мостика, крана для подъема и опускания щитов, тележек со щитами и толпы людей. Нагрузка краном рассматривается в 2-х предположениях: при подъеме щитов и во время движения.

Вес служебного мостика, перил и цепи можно считать при больших фермах около 200 кг на ферму; вес крана для подъема щитов в тех же условиях — 1500 — 2000 кг на ферму; вес щитов с тележкой также должен быть учтен.

Толпа людей — 500 кг на кв. метр, что дает 800 — 1000 кг на ферму. Вес фермы распределяем поровну на все узлы, остальная нагрузка распределяется лишь на 2 верхних узла фермы.

Выше было упомянуто, что собственный вес фермы оказывает малое влияние на увеличение прочных размеров стержней фермы. Так как расчет производится в крайне невыгодных условиях — без учета давления воды нижнего бьефа, то весом фермы можно пренебречь. Построив диаграмму Максвелля для вертикальной нагрузки, получим усилия в стержнях фермы. Полученные усилия в стержнях от обеих диаграмм Максвелля и изгибающие моменты в частях передней стойки должны быть занесены в общую таблицу.

Необходимо обратить внимание на особые условия работы верхней распорки фермы. Эта распорка находится в самых невыгодных условиях работы при подъеме ферм.

Черт. № 273 изображает распределение усилий в цепи при подъеме ферм при известной принятой длине цепи между фермами.

На основании приведенного графика можно определить максимальную силу, дающую изгибающий момент в верхней распорке фермы.

В зависимости от веса ферм зараз поднимают от 4 до 6 ферм.

Диаметр цепного железа в цепи для подъема ферм высотой до 6,40 м (3 саж.) равен не свыше 20 мм — 22 мм.

Подобрав сечения для всех стержней фермы, определим напряжения в передней стойке при подъеме фермы с флютбета.

В момент поднятия ферму можно рассматривать, как брус, лежащий на 2-х опорах и подверженный действию собственного веса.

Опорами при этом являются с одной стороны подшипник, а с другой — цепь, прикрепленная к верхней части фермы.

Приняв равномерное распределение веса фермы по передней стойке, получим $M_{\max} = \frac{Q \cdot L_1}{8}$, где Q — вес фермы и L_1 — длина стойки. Максимальное напряжение в передней стойке $\sigma = \frac{M_{\max} \cdot Z}{I}$, где I — момент инерции стойки и Z — наиболее удаленная от оси инерции кромка.

Передняя стойка должна иметь размеры, при коих приведенный расчет не должен вызывать нового усиления фермы, а служить лишь поверочным, доказывающим правильность принятых ранее размеров сечения передней стойки. Самая высокая ферма Поаре имеет высоту 7,19 метра (р. Сев. Донец). Сечения задних стоек при значительных наносах р. Сев. Донца взяты слишком слабые, вследствие чего фермы при подъеме весной слегка искривляются.

Флютбет плотины Поаре. На флютбетах плотин Поаре остановимся подробнее, чтобы не повторяться при описании плотин других конструкций: принципы останутся прежними, а учет особенностей конструкции плотины нетрудно произвести при проектировании флютбета всякой другой разборчатой плотины. Средняя часть флютбета (водобой) устраивается деревянная, из каменной кладки (бетона, буто) и из железо-бетона. Понур и рисберма при этом могут иметь разнообразную конструкцию, с применением мятой глины, мостовой, сухой кладки, фашины, бетона и железо-бетона, причем при деревянной средней части флютбета бетон и железо-бетон отсутствуют и в понуре и в рисберме.

Поэтому при рассмотрении разделим все существующие типы флютбетов в зависимости от конструкции средней части флютбета, т.е. рассмотрим флютбеты деревянные, из каменной кладки и железо-бетонные.

При этом полагаем, что подпоры плотин Поаре достигают не выше 4,25 м = 2 саж., что отвечает существующей практике и в значительной мере может быть отнесено ко всем плотинам разделов III и IV гл. III.

Флютбеты из каменной кладки. Основной вопрос, возникающий при конструировании, это выбор материала: бутовая кладка или бетон.

Последнему в настоящее время отдается явное предпочтение, ввиду монолитности бетона, большей водонепроницаемости и большему сопротивлению бетона на изгиб и скалывание, что может понадобиться при неравномерных грунтовых условиях в основании, на коем возведен флютбет, а также в случае частичного подмыва основания под флютбетом.

Конечно, при таких условиях работы не может быть колебаний при выборе материала.

В настоящее время вопрос считается настолько освещенным, что уже не встречается никакой надобности в обосновании выбора бетона для всего флютбета плотины или нижней части его по толщине: верхнюю часть флютбета на водобойном участке устраивают иногда из бутовой кладки, больше сопротивляющейся ударам.

Впрочем, того же достигаем, покрывая поверхность бетона в водобойной части облицовкой грубой тески или досчатым настилом толщиной = 7,6 см (3").

Черт. № 248 изображает профиль флютбета плотин на р. Сев. Донце. Все 6 плотин на р. Сев. Донце имеют одну и ту же конструкцию и благополучно существуют 10-ый год, хотя все же можно указать на некоторые недостатки конструкции.

Так, устройством понура на протяжении 10 — 11 м (5 саж.) из двойной мостовой из рваного камня выполняем только одну часть работы понура: препятствуем размыванию грунта впереди плотины при проходе высоких вод.

Однако, как излагалось выше (гл. 1, § 2), понур должен также погашать часть напора воды, движущейся под флютбетом, чтобы уменьшить скорость воды, фильтрующей на дальнейшем участке флютбета.

Рациональнее устраивать понури из слоя мятой глины толщиной (1 м = 0,50 с.) с кюветом при соединении понура со средней частью флютбета (см. черт. 274).

По глине должна быть устроена двойная мостовая, препятствующая размыву понура и увеличивающая его вес, в силу чего движение воды под понуром происходит в еще более стесненных условиях.

Впереди понура также устраивается кювет и забивается досчатый шпунтовый ряд на глубину 3,2 м — 2,15 м (1,50 с. — 1,00 с.).

Средняя часть флютбета плотин на р. Сев. Донце устроена из бетона с облицовкой его между подшпунниками фермы и на следующем участке трехдюймовыми досками (черт. № 247).

Досчатое покрытие хорошо сохраняется под водой и стоит гораздо дешевле облицовки из камня, в силу чего при шлюзовании р. Сев. Донца и решено было прибегнуть к принятой конструкции, ибо бывш. Управление Внутр. Водных путей из-за стесненных финансовых условий старательно изыскивало способы сокращения сметы на работы.

Толщина флютбета в средней части принята в 1,92 м при подпоре (разности горизонтов) плотины в 3,52 м.

Если принимать линейное падение напора по длине фильтрационной линии, то толщина в средней части флютбета должна бы равняться $t \geq m \frac{H-h}{\rho-1}$, где H — подпор, ρ — удельный вес бетона, h — потерянный напор фильтрационной воды на пути до рассматриваемого сечения и m — коэффициент запаса. При $H = 3,52$, $\rho = 2,2$ и 3-х саженой длине шпунта

$$h = \frac{1}{c} = \frac{(3 \text{ с.} + 1,60 \text{ с.} + 0,25 \text{ с.} + 0,50 \text{ с.} + 1,20 \text{ с.} + 0,75 \text{ с.})}{15} \cdot \frac{2,13}{2} = 1,04 \text{ м.}$$

при $c = 15$ для песка средней крупности. Влиянием понура пренебрегаем в виду принятой конструкции его.

$$t \geq m \cdot \frac{3,52 - 1,04}{1,2} = \frac{2,48}{1,2} = 2,07 \text{ м.}$$

Принято: $t = 1,92$ м т.-е. при $m < 1$. К тому же шпунты фактически не забиты на 3 с = 6,40 м.

Тем не менее флютбеты благополучно работают 10-ый год.

По сравнению с другими существующими плотинами, работающими в аналогичных условиях, в данном случае t взято небольшое, ибо плотина на р. Одер при подпоре в 2,60 м имеет толщину средней части флютбета 1,90 м при песке. Глубина погружения верхового брусчатого шпунта ниже подошвы флютбета должна быть равна подпору плотины, что надо считать минимальной длиной шпунта (Köhn, Ausbau von Wasserkraften).

Понурный участок средней части флютбета имеет ббольшую толщину ввиду необходимости устройства порога, прикрывающего фермы.

Ширина упомянутого участка флютбета колеблется в практике от 1,80 м до 4,80 м.

Роль его — дополняющая работу понура.

В данном случае ширина эта взята в 2,25 с. = 4,80 м (р. Сев. Донец).

В прилагаемой таблице показаны размеры отдельных частей флютбета в зависимости от общей его ширины в различных существующих плотинах.

Сооруженные плотины Поаре.	Подпор. <i>H</i>	Общая шири- на флют- бета <i>K</i>	Верховая часть флютбета		Низовая часть флютбета		Ширина фермы понизу		Толщина флют- бета в средней части.
			Ши- рина ее <i>m</i>	$\frac{a}{k}$	Ши- рина ее <i>n</i>	$\frac{n}{k}$	Ши- рина ее <i>a</i>	$\frac{a}{k}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Шлюз р. Дона . . .	—	11,50 м (5,40 с.)	3,20 м (1,50с)	0,28	3,62 м (1,70с)	0,32	4,69 м (2,20с)	0,40	1,60 м (0,75с)
Шлюз. р. Сев. Донца .	3,47 м (1,63 с.)	13,85 м (6,50 с.)	4,69 м (2,20с)	0,34	4,26 м (2,00с)	0,31	4,69 м (2,20с)	0,34	1,92 м (0,90с)
„ р. Шексны	3,245 м	12,00 м	4,00 м	0,33	3,80 м	0,32	4,20 м	0,35	2,25 м
Дортм. Эмск. к. . .	2,20 „	8,20 „	2,60 „	0,32	3,40 „	0,41	2,20 „	0,27	2,60 „
Плотина на р. Одер	2,60 „	6,00 „	2,00 „	0,33	1,60 „	0,27	2,40 „	0,40	1,90 „
Плотина на Молдаве	5,36 „	11,30 „	3,50 „	0,31	3,80 „	0,34	4,00 „	0,35	2,50 „
Сюренская плотина	3,27 „	15,00 „	5,10 „	0,34	6,20 „	0,41	3,70 „	0,25	4,42 „
Плотина на р. Оке	3,56 „ (1,67 с.)	13,85 „ (6,50 с.)	3,83 „ (1,80с)	0,28	5,33 „ (2,50с)	0,38	4,26 „ (2,00с)	0,3	1,60 „ (0,75с)

Дальше на протяжении 4,15 м (1,95 с.) + 0,85 м (0,40 с.) + 3,84 м (1,80 с.) = 8,84 м (4,15 с.) толщина флютбета Донецких плотин не уменьшается, как это следовало бы делать по Bligh, ибо, кроме давления фильтрационной воды, приходится помнить о возможном сдвиге средней части флютбета под влиянием силы напора. Сдвигающая сила равна p_2 ; сила, сопротивляющаяся сдвигу, равна $(p_1 - p_3 + p_4) \cdot f$, где $f = 0,45$ для песка и $f = 0,3$ для глины. См. черт. № 275. При этом влияние шпунтовых рядов не принимают во внимание, ибо они начинают работать на изгиб и срез уже в момент нарушения равновесия по подошве флютбета. Коэффициент устойчивости флютбета на скольжение $\eta_{ck} = \frac{(p_1 - p_3 + p_4)}{p_2} \cdot f$ должен быть > 1 .

Коэффициент устойчивости на опрокидывание флютбета получим, сделав подсчет по той-же схеме, где p_1 — вес бетонного флютбета при $\rho = 2,20 - 1,00 = 1,20$; p_2 — напор воды, равный $\frac{1}{2} \cdot 1000 H \cdot (H + 2h_0)$ ¹⁾

¹⁾ Примечание: Сила p_2 имеет направление, нормальное к плоскости затвора. Здесь, на примере, считаем затвор вертикальным; при наклонных затворах p_2 также наклонно и вычисляется с учетом угла наклона. Горизонтальной его составляющей будет прежняя величина $p_2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot H \cdot (H + 2 h_0)$ на 1 п. м. плотины, где h_0 — глубина в нижнем бьефе до подошвы флютбета (см. черт. № 275).

p_3 — давление воды снизу на флютбет, причем ординаты a_1 и a_2 находим по формуле $a_1 = H - h_1 = H - \frac{l_1}{c}$, где l_1 — уже пройденный путь фильтрации, c — коэффициент для данного грунта; $a_2 = H - h_2 = H - \frac{l_2}{c}$; p_4 — вес воды верхнего бьефа над горизонтом нижнего бьефа.

Коэффициент устойчивости флюتبета на опрокидывание около ребра А

$$\gamma_0 = \frac{p_1 q_1 + p_4 q_4}{p_2 \cdot q_2 + p_3 q_3},$$

где q_i плечо силы считая от ребра А (черт. № 275). Участок rg шпунта нетрудно приготовить так, что его водонепроницаемость будет отвечать водонепроницаемости бондарных изделий. Это надо иметь ввиду при отрыве кювета под понур (черт. № 275). При хорошем надзоре шпунтовый ряд на первой сажени получается весьма мало проницаемым без всяких дополнительных мер.

Пример — котлован плотины № 3 у хут. Н. Журавского на р. Сев. Донце, где при водоотливе вода, скоплавшаяся в кювете для будущего глиняного понура, нисколько не просачивалась в котлован, в силу чего воду отводили к насосу по кювету выше шпунтового ряда (по течению).

Такие случаи нередки в песчаном грунте, а в глинистом единственно возможны при хорошей работе по забивке свай.

Устройство кюветов (см. черт. № 248) способствует удлинению фильтрационной линии.

Крайние кюветы флюتبета неизбежно образуются при отводе воды при отрыве котлованов.

Наличие дополнительных кюветов посреди флюتبета способствует большему удлинению фильтрационной линии и небольшому увеличению коэффициента устойчивости флюتبета на скольжение, но вызывает промедление в производстве работ с водоотливом, ибо выбирание последних соток выемки под плотину происходит с затруднением и обходится дорого при учете происшедшего промедления. А значит, лучше предусматривать большую длину шпунтовых линий и небольшое равномерное утолщение флюتبета, если есть в этом надобность, или уширять крайние кюветы, нужные для отвода воды.

Затем определяем максимальное напряжение грунта на сжатие у ребра А и сравним его с допускаемым напряжением на 1 м^2

$$R = \frac{\gamma \cdot \delta}{n^2},$$

где γ — вес 1 м^3 грунта в т, δ — толщина флюتبета в метрах и $n = \text{tg}^2 (45 - \varphi/2)$.

Переходим к третьей части флюتبета — рисберме.

Рисберма на Донецких плотинах устроена на протяжении 10 саж. = 21,3 м ниже шпунтового ряда, ограничивающего бетонную часть флюتبета со стороны нижнего бьефа.

Рисберма имеет толщину 0,50 с. = 1,07 м и сделана из каменной наброски из рваного камня с мощением поверху из того же камня с расщепкой. Под наброской приготовлена хворостяная подстилка толщиной 0,15 с. = 0,32 м, в которую забиты на 0,50 с. = 1,07 м колья толщиной 2 верш. = 9 см в расстоянии 0,50 с. = 1,07 м один от другого. По кольям

устроены плетневые клетки, которые и забрасывались камнем с последующим мощением поверху. При галечном грунте от хворостяной выстилки и клеток отказывались, оставляя лишь каменную наброску с мощением.

Рисберма нужна для погашения живой силы воды, падающей со щитов Буле и стремящейся размыть ложе реки ниже плотины.

При спицевом закрытии вода не падает вся на водяную подушку, а под напором течет вниз по флютбету с большой скоростью, еще более угрожая рисберме, нежели при щитах Буле, где водяная подушка на бетонной части флютбета значительно ослабляет живую силу падающей воды.

Рисберма Донецкого типа хороша для песчаных грунтов при условии тщательной работы по заполнению клеток, т.-е. при замене наброски сухой кладкой с тщательным заполнением пустот мелочью, с тщательным мощением поверху с расщебенкой.

Неаккуратная работа по устройству рисбермы описанной конструкции или недостаточные ее размеры вызывают в последующем большие издержки, хорошим примером служит рисберма сооружения № 1 на р. Дону, которая ныне нуждается в ремонте: нужна новая наброска на месте вымоин и ниже рисбермы. Избежать этого можно было бы своевременной тщательной работой и удлинением рисбермы, что обошлось бы в конечном итоге дешевле, нежели ежегодный ремонт.

Об этом давно писали Lagrené и Maré. Повидимому, выгоднее было бы заменить сухую кладку поверху хотя бы на протяжении первых 10—11 м (5-ти саж.) массивами—плитами размерами в плане 1 м \times 1 м (0,50 \times 0,50 с.) при толщине 45 см (0,20 с.)—50 см (0,25 с.).

Хворостяную выстилку можно оставить, ибо она препятствовала бы зарыванию массивов в песок.

Щели между массивами следует заполнить гравием.

Сплошной ряд свай $d = 9$ см, забитых на глубину 1,60 м (0,75 с.), должен служить упором для массивов. Массивы должны быть приготовлены на растворе 1 : 3.

Следующие 10—11 м (5 саж.) рисбермы можно было бы оставить прежней конструкции.

При всяких обстоятельствах рисберму следует начать с утолщения в виде кювета, сэкономив столько же, если это необходимо, на длине рисбермы.

Рассмотренный пример выясняет общий ход работы по определению размеров отдельных частей флютбета.

В случае галечно-гравелистого грунта бесполезно забивать деревянные шпунтовые ряды: они глубоко не пойдут и будут очень плохи, что легко обнаружить откапыванием ряда забитых свай.

Но здесь шпунтовые ряды и не нужны, ибо коэффициент фильтрации для такого грунта много меньше, нежели в разобранным примере, т.-е. $C = 6$ вместо предыдущих 12—15.

Потребная линия фильтрации уменьшается вдвое. Длину понура тоже можно уменьшить, если она больше 11 м (5,00 с.) Арифметический подсчет даст размеры отдельных частей сооружения при одинаковом коэффициенте запаса, как и в предыдущем случае. Среднюю часть флютбета лучше оставить прежних размеров. В случае слабых грунтов, подстилающих ложе реки, лучше поискать неподалеку от назначенного места более надежных грунтов, а за невозможностью добиться лучших грунтовых условий, следует забить

свай под флютбет так, чтобы острия свай вошли в плотный грунт (твердая глина, скала). Тогда сопротивление свай можно рассчитывать по площади сечения свай, т.-е. для 26 см (6 верш.) свай можно взять 16,5—20 т (1000—1200 пуд.), для 22 см (5 верш.) 11,5—13 т (700—800 пуд.).

Если же плотный грунт залегает глубоко (потребная длина свай свыше 7,45—8,50 м = 3,50—4,00 с.), то приходится забивать свай при наличии шпунтовых рядов на небольшую глубину ¹⁾, в среднем на 4,25 м (2,00 с.), при чем в данном случае свай будут держать флютбет благодаря сопротивлению свай трению о прилегающий грунт. Величина сопротивления свай трению о прилегающий грунт равна:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d \cdot \gamma \cdot f \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot H^2$$

где H_1 — глубина забивки,

» γ — вес 1 куб. метра грунта (если грунт почти плавает в воде, то γ — вес данного грунта в воде);

» d — диаметр свай,

» f — коэффициент трения грунта о сваю,

» φ — угол естественного откоса грунта.

Сопротивлением грунта под концом свай пренебрегаем; в выражение для P входит лишь сопротивление грунта в силу трения грунта о боковую поверхность свай.

Для песка $f = 0,40 — 0,48$ (по опытам Eisenwerth'a $f = 0,48$).

При расчете свайного основания пользуемся прежней схемой (см. черт. № 275), служившей для определения коэффициента устойчивости бетонной части флютбета на опрокидывание и скольжение.

При выборе коэффициента «с» фильтрации легко сделать ошибку в ту и другую сторону, ибо таблица грунтов и значений величин, данная Bligh, весьма несовершенна, чтобы ею можно было пользоваться для всяких грунтов. Не указаны даже размеры отдельных частиц грунтов, с которыми имел дело Bligh.

В России мелким песком называют песок диаметром песчинок $< \frac{1}{2}$ мм

»	песком средней крупности называют от . . .	$\frac{1}{2}$ мм	—	2 мм
»	крупным песком	2	»	— 5 «
»	гравием мелким	5	»	— 8 «
»	» средней крупности	8	»	— 12 «
»	крупным гравием	12	»	— 20 «
»	галькой		»	> 20 ²⁾ .

Еще раньше Bligh ³⁾ рекомендовалось (Köhn, Ausbau von Wasserkraften) брать длину пути фильтрации для мягких грунтов от 8 до 12 Н, где Н — подпор плотины.

Если придавать таблице Bligh значение, примерно, того же порядка, что и указанию Köhn'a, то проверка по Bligh может считаться условной, т.-е. приемлемой, если результаты проверки не заставляют сильно отступать от данных более, чем полувекового опыта по плотностроению. Этими соображениями мы предостерегаем увлекающихся таблицей Bligh, пригодной

¹⁾ При забивке достигается сильное уплотнение грунта между шпунтовыми рядами.

²⁾ См. Эвальд „Техн. стр. материалов“.

³⁾ Еще в 1896 г. у Clibborn были изложены главные идеи Bligh'a, так что Bligh принадлежит лишь попытка сводки в целое разбросанных сведений и спецификация коэффициентов фильтрации.

лишь для сооружений типов и размеров, описанных Bligh. В применении к расчету свайного основания под флютбет изложенные соображения должны привести к выводу: опасно вычислять давление фильтрационной воды по таблице Bligh, ибо наш грунт может оказаться фильтрующим слабее, нежели это дает принятая величина C , и сваи будут работать в худших условиях, нежели предположено в расчете.

Следовательно необходимо в данном случае принять положение, которое может внести запас прочности.

Таковым является предположение полного отсутствия фильтрации под бетонной частью флютбета.

Одновременно следует сделать проверку свайного основания на перегрузку крайних свай при давлении снизу фильтрационной воды (второе предположение).

Очевидно, $p_2 \cdot e = (\Sigma p_i) \cdot BC$, откуда $BC = \frac{p_2 \cdot e}{\Sigma p_i}$, где Σp_i — сумма всех отвесных сил; MB находим, взяв сумму моментов всех отвесных сил относительно точки M и поделив ее на сумму всех отвесных сил. Эксцентриситет силы R — равнодействующей сил p_2 и Σp_i , равен $MC = \frac{MT}{2}$ (см. черт. № 276).

Поставив крайние сваи в 0,50 м от шпунтовых рядов, остальные ставим с возрастающим расстоянием от T к M с тем, чтобы нагрузка на каждую сваю была одна и та же.

Принятое расположение свай проверяем при втором предположении: наличии фильтрационного давления по схеме № 275.

Для получения равномерного давления на все сваи необходимо, чтобы центр тяжести всех сечений свай, рассматриваемых как одна прерывная площадь, совпал с центром давления C . При этом минимальное расстояние между сваями — $2\frac{1}{2}$ диаметра свай.

Давление на сваю $P = \frac{\Sigma p_i}{n} \pm \frac{Mz}{I}$, где n — число свай, $M = \epsilon \cdot \Sigma p_i$; ϵ — расстояние центра тяжести свайного основания от центра давления. $I = z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2$ (z_i — расстояние сваи от центра тяжести), ибо площадь сечения сваи считаем за единицу. При $\epsilon = 0$ имеем: $P = \frac{\Sigma p_i}{n}$.

Положение центра тяжести свайного основания, намеченного предварительно, легко найдем, взяв статический момент S сечений свай относительно края флютбета: $S = z'_1 + z'_2 + \dots + z'_n$ и расстояние центра тяжести от края флютбета равно $\frac{S}{n}$, где n — число свай.

Отказ сваи e_1 находим по формуле Брикса¹⁾ при коэффициенте запаса $m = 6$:

$$P = \frac{H \cdot q \cdot Q^2}{m \cdot e_1 (Q + q)^2},$$

где e_1 — погружение сваи от последнего удара бабы, Q — вес бабы и q — вес сваи.

Равнодействующая R при разложении ее в основании флютбета дала две силы: Σp_i , только что учтенную нами, и p_2 — горизонтальную силу. Необходимо поверить сваи на срез и изгиб под действием этой силы.

¹⁾ В 1917 г. инж. Н. М. Герсевич опубликовал новую формулу, еще более согласованную с данными практики: $P = \frac{1}{n} \left[-5F + \sqrt{25F^2 + 10 \cdot \frac{F}{e} \cdot Q \cdot H \cdot \frac{Q + 0.2q}{Q + q}} \right]$, где Q — вес бабы, q — вес сваи, H — подъем бабы, e — отказ сваи при последнем ударе, 3 — коэффициент запаса, F — площадь попер. сечения сваи.

См. Н. М. Герсевич. Об определении сопротивления свай по их отказу, изд. 1917 г.

Так как сваи выступают над грунтом лишь на 45 см (0,20 саж.) и так как грунт сильно уплотнен забивкой грунтовых свай при наличии шпунтовых рядов, то при забивке свай до требуемого отказа в наших условиях свая не может ни сдвинуться, преодолевая реакцию грунта, ни сломиться в грунте.

При таких обстоятельствах остается проверка свай на срез при допускаемом напряжении 15 кг/см².

Рассмотренный нами флютбет Донецких плотин с добавлением для слабых грунтов свай под основание, забитых чрез 1—1,3 м (0,50—0,60 саж.) центр от центра на глубину 4,25 м (2,00 саж.), вполне исправно работает (на Довце имеется 3 таких флютбета) по настоящее время.

Переходим к рассмотрению деталей конструкции флютбета. Возьмем для примера тот же Донецкий тип. Чтобы покончить со шпунтовыми рядами, заметим, что нижний шпунтовый ряд (по течению) забивается всегда на меньшую глубину, нежели верхний, чтобы не создавать ни при каких обстоятельствах под флютбетом плотины вредных для него стесненных условий для выхода фильтрационной воды из-под подошвы к рисберме по обводу нижнего шпунтового ряда. Это вполне совпадает с указанием Köhn (Ausbau von Wass-kräften), который полагает, что верхний шпунтовый ряд должен быть забит ниже подошвы флютбета на глубину, не меньшую величины подпора плотины, а низовой шпунтовый ряд—на глубину не меньше 1,50 м (ниже подошвы флютбета). В современной американской практике часто обходятся без низового шпунта, что улучшает условия работы флютбета, но осуществимо лишь при металлических шпунтах, а при деревянных—при малом подпоре, ибо длина шпунтовых свай переднего ряда возрастает.

Порог средней части флютбета у шпунтового ряда иногда окаймляется рядом грубой облицовки шириной 32 см (0,15 саж.). (Донецкий тип), а часто обходятся без облицовки, справедливо полагая, что бетон вполне достаточен для этой части флютбета, не выдерживающей никаких усилий, кроме трения наносов по поверхности, как и вся верховая бетонная часть флютбета.

Покрытие поверхности бетона смазкой состава 1:1½, 1:2 с затиркой вполне обеспечивает исправную работу поверхности флютбета до порога плотины, где помещается верхний шип фермы, входящий в подшипник, прикрепленный к каменному подферменнику (из песчаника или гранита) посредством 2-х или 4-х болтов, проходящих в бетон на 1—1,7 м (0,50—0,80 саж.) и соединенных внизу тарелкой, по которой проложен продольный рельс для полной связи системы в одно целое (Донецкий тип). Можно обойтись без рельса, ибо прочность заделки болтов гарантируется их длиной, к тому же имеется тарелка. Гнезда для подшипников образуются перерывами в укладке между—подферменными камнями (см. черт. №№ 277—279) и перекрывающими камнями и плитами, укладываемыми сверху и с тыльной части.

Такое устройство очень надежно, но зато дорого, ибо требует дорогих, часто привозных штучных камней, расцениваемых с 1 куб. фута (средняя цена—4 руб. за 1 куб. фут, что дает 141 р. 25 коп. за 1 м³).

Поэтому иногда применяют другое устройство ниши, изображенное на черт. № 280.

Здесь потребуется бетон и железо.

Конструкция ясна из чертежа. Черт. № 281 изображает передний подшипник при 4-х болтах (Донецкий тип).

Устраивают передний подшипник и при двух болтах.

Болты рассчитываются по реакции фермы у переднего подшипника, с каковой силой (обратный знак) выдергиваются болты. При двух болтах каждый из них рассчитывается на полную выдергивающую силу, а при 4-х болтах—каждый считается на половину всей выдергивающей силы: болты устанавливаются на все время существования плотины (см. черт №№ 248—249).

Задний шип фермы входит в задний подшипник (черт. № 282), который не вырывается, а наоборот, придавливается к флютбету, стремясь сдвинуться по течению: сила направлена вниз наклонно в сторону течения.

Следовательно, только случайностью можно объяснить заделку болтов в бетон с пропуском их через всю толщину заднего подферменника (пример—новые плотины на р. Шексне): дорого и ненужно.

Достаточно применять заершенные болты, заделав их на 22 — 25 см (0,10—0,12 саж.) в подферменник, обратив особое внимание на заливку дыр по установке болтов, отказавшись от практикуемой иногда свинцовой заливки: свинец формуется и болты расшатываются. Надо заливать цементом. Для упора задних подферменников с тыльной стороны иногда устанавливается швеллер (Донецкий тип), хотя расчет обычно показывает ненужность этого швеллера, отсутствующего во многих других конструкциях (черт. № 247).

Поверхность флютбета между передними и задними подферменниками выстилается каменной облицовкой.

В виду экономии часто заменяют облицовку досчатым настилом толщиной 7,5 см (3"), перекрытым пластинами (Донецкий тип, черт. № 247).

Промежутки между задними подферменниками выстилаются мелкой облицовкой (черт. № 277). За подферменниками (задними) устраивается также деревянный настил (см. черт. № 248), если отказываются от облицовки, более надежной, но зато и более дорогой.

В случае опасений вымывания грунта под флютбетом плотины, бетонную часть последнего снабжают железной арматурой, которая будет вызвана в этом случае к работе, ибо некоторые части флютбета могут оказаться подвешенными на соседних.

Осторожные строители вообще снабжают флютбет легкой арматурой сверху и внизу, исключаяющей возможность повреждений от явлений, не учтенных в облегченной схеме расчета бетонного флютбета.

Железобетонные флютбеты. Здесь мы не будем касаться вопросов, общих для всякой конструкции флютбета, а отметим исключительно особенности данной конструкции и условий ее работы. Черт. №№ 283—286 изображают флютбет спицевого плотины на реке Hargas Körös (Венгрия).

Флютбет представляет собой железобетонную ребристую плиту шириной 21,34 м (длина по течению).

В понурной части, где имеем подпорный горизонт воды, ребра плиты опущены вниз, ибо плита работает под давлением воды сверху.

Впереди понура, т. е. в начале плиты, забит железобетонный шпунтовый ряд толщиной 20 см.

Под ребрами плиты забиты железобетонные сваи квадратного сечения размерами 25 см. × 25 см. Сваи поддерживают плиту.

Ниже (по течению) спицевого заграждения плита опущена на 0,50 м и снабжена ребрами сверху плиты, ибо здесь работа плиты иная: вода давит снизу вверх.

Сваи здесь скреплены с ребрами плит, ибо они работают на выдергивание. Промежутки между ребрами заполнены тощим бетоном, кроме участка

выше ферм, где помещается порог для спид. У переднего шипа фермы свая имеет диаметр 30 см. Подпор плотины — 2 м. Низовой шпунтовый ряд отсутствует.

Устой плотины устроены также из железобетона. Крылья устоев снабжены лестницами также из железобетона.

Описанная конструкция является типичной, так что мы не приводим никаких других примеров.

Для расчета требуется располагать данными о сопротивлении свай выдергиванию.

При составлении проекта это сопротивление можно принимать в $\frac{3}{5}$ от допустимой нагрузки на сваю той же длины в данном грунте, но при осуществлении проекта нужна забивка и выдергивание пробных свай, чтобы проект отвечал действительным условиям службы сооружения. Верхняя (передняя) плита должна быть рассчитана на нагрузку ее водой верхнего бьефа, за вычетом фильтрационного давления снизу, а нижняя плита должна быть рассчитана на давление воды снизу под напором $H - h$ метров, где H — подпор плотины, а h — потерянный напор фильтрационной воды до рассматриваемой плиты.

Во всем остальном расчет производится по схеме расчета флютбета из каменной кладки.

Деревянные флютбеты. Деревянные флютбеты в плотинах Поаре применяются при мягких грунтах с целью понизить строительную стоимость плотины при имеющемся дешевом лесе и дорогом камне и цементе. Однако необходимо располагать кадром плотников, опытных в постройке деревянных гидротехнических сооружений, чтобы экономия оказалась действительной, а не теоретической.

Пример — Андреевская плотина на р. Москве, строящаяся в настоящее время, потребовавшая больших расходов, имея однако недостаток временной конструкции.

Флютбет состоит из понура, водобоя и слива при трех шпунтовых рядах: понурном, королевом и водобойном. Все шпунтовые ряды брусчатые (18 см = 4 верш.).

Понурный пол двойной из 2-х рядов досок толщиной 8—9 см (2 верш.) (черт. №№ 287—288).

Водобойный пол имеет 2 ряда досок толщиной 8—9 см (2 верш.) и верхний третий ряд толщиной 4,4—6,7 см (1 — $1\frac{1}{2}$ верш.).

Последний предохраняет от износа нижние ряды.

Поэтому он делается съемаым: прижимается брусками на болтах, а не прибивается гвоздями.

Настил понурного пола лежит на насадках грунтовых свай.

Водобойный пол основывается на парных схватках, обхватывающих концы свай, воспринимающих усилия от фермы.

Нижние 2 ряда настила водобойного пола уложены перпендикулярно к схваткам, а верхний — параллельно.

Для достижения полной водонепроницаемости полов они осмаливаются и между верхним и нижним рядами прокладывается смоленый войлок.

Под полами уложена загрузка из мятой глины с песком.

Сливная часть устраивается в виде рисбермы из сухой кладки, ограниченной снизу (по течению) сплошным рядом свай (забивка частокон).

Передние подшпунники фермы устанавливаются на 4-х продольных брусках, примыкающих к королю.

Эти брусья укладываются в свою очередь на концах главных парных схваток. Свая, несущие главные схватки, расположены таким образом, что под передним и задним подшипниками приходится по свае.

В непосредственной близости к этим главным сваям имеется в том же ряду одна свая для переднего подшипника и две—для заднего.

Ниже главных парных схваток идут вторые нижние схватки, перпендикулярно главным и параллельно брусьям, на коих лежат передние подшипники.

Вырывающее усилие от переднего подшипника передается этим схваткам.

Такая конструкция обеспечивает полную связь в работе ферм: перегрузка одной фермы (удар плавающего тела) немедленно вызывает работу основания соседних ферм.

При устройстве основания для заднего подшипника необходимо обратить внимание на передачу горизонтальной составляющей давления на подшипник.

Для этой цели против каждого подшипника укрепляются упорные брусья, передающие горизонтальное усилие на шапочный брус водобойного шпунтового ряда.

Теоретического подсчета прочности пола в понуре и водобое обычно не делают; его всегда устраивают по опыту службы плотин солиднее, нежели показывают теоретические подсчеты (см. разд. II и III, гл. III).

§ 4. Плотина Томаса.

Американский инженер Томас применял на реке Ohio своеобразную конструкцию разборчатой части плотины. Фермы, перекрывающие пролет плотины, сами служат щитами, образуя между собой небольшие зазоры, или входя одна в другую на 0,5 см (черт. №№ 289 и 290).

Ферма Томаса обладает значительной жесткостью в направлении, перпендикулярном ее плоскости, чем не обладает ферма Поаре. Это достоинство фермы приобретает особенную цену для рек с большим количеством наносов. Щиты отсутствуют, путь для лебедки и тележек—также, не требуется сарай для щитов, маневрирование производится весьма просто при помощи двух человек. Быстрота уборки плотины весьма значительна. Массивность ферм служит гарантией против каких-либо случайных повреждений.

К недостаткам фермы Томаса следует отнести некоторую дороговизну и затруднительность регулировки. Если не доводить обшивку до верха ферм, и закрывать полученные отверстия щитами, то вместе со щитами явится необходимость в устройстве пути, подвижном составе, сарае для щитов, т.-е. появились бы снова недостатки, которых Томас старался избежать в своем затворе.

Применение фермы Томаса на отдельном участке плотины, работающей на остальной длине с фермами Поаре, также может оказаться выгодным на реках с сильными паводками.

Особенности устройства механизмов фермы состоят в следующем.

Стальное цепное колесо (см. черт. №№ 291—292) отлито вместе с храповиком и прикреплено к верхней распорке фермы. Собачка храповика имеет рычаг. При поднятых фермах рычаг каждой из них упирается в особый шип, приклепанный к соседней ферме, вследствие чего собачка храповика приподнята и храповик с колесом свободно вращается при проходе цепи, идущей сквозь все фермы.

При всех других положениях фермы собачка зажимает храповик и зубчатое колесо, а с ним и фермы оказываются скрепленными с цепью. Поднятые фермы образуют сплошное заграждение реки, а опущенные — массивный порог, ложась одна в другую, при чем вместо устройства порога оказалось достаточным уложить продольные деревянные брусья. Установленные фермы соединяются между собой крючками. Подъем и опускание производится помощью лебедки цепью (указанной выше); другая цепь, соединяющая отдельно каждую пару ферм, служить запасной.

По своим техническим свойствам ферма Томаса является одной из самых удачных конструкций для рек с быстрым повышением горизонта воды, когда вода грозит затопить площадки сооружений и препятствует разборке плотины, вследствие чего при продолжительных паводках нельзя уже пользоваться рекой в ее естественном состоянии.

С увеличением подпора и высоты фермы ее вес и следовательно стоимость быстро возрастает. Так, при высоте фермы 5,16 м вес фермы равен 1640 кг (100 пуд.), а при высоте 7,14 м ферма Томаса весит уже 4310 кг (263 пуда). Подпор принят равным высоте фермы при толщине ее 0,63 м.

Черт. №№ 289—294 изображают конструкцию фермы Томаса для подпора в 4,25 м (2,00 саж.).

Расчет фермы Томаса не представляет затруднений. Составив выражения для моментов сил, действующих в сечениях 1 — 1, 2 — 2, и 3 — 3 (см. черт. №№ 295—296), и найдя выражение для величины потенциальной энергии всей системы, находим лишнюю неизвестную H_1 . При составлении выражения потенциальной энергии продольными силами пренебрегаем, ибо это мало влияет на конечный результат. Опорными моментами также пренебрегаем, что идет в запас прочности (очень небольшой, ввиду принятой конструкции опор). Кроме моментов сил, при определении напряжений принимаем также во внимание продольные силы для тех же сечений.

Влияние собственного веса учитываем отдельно, аналогичным образом найдя моменты сил в тех же сечениях, а также величины продольных сил (см. черт. № 297).

Складывая моменты и силы 1-й и 2-й группы, найдем полные моменты и силы для любого произвольного сечения в каждом стержне:

$$M_1, M_2, M_3$$

и

$$T_1, T_2, T_3$$

в функции величины x — расстояния сечения от соответственного узла фермы (см. черт. № 296).

Выражение для потенциальной энергии имеет вид:

$$V = \sum \frac{1}{2E} \int M^2 dx \text{ и } \frac{dV}{dH_1} = 0 = \frac{1}{I_1} \int M_1 \frac{\partial M_1}{\partial H_1} dx_1 + \frac{1}{I_2} \int M_2 \frac{\partial M_2}{\partial H_1} dx_2 + \frac{1}{I_3} \int M_3 \frac{\partial M_3}{\partial H_1} dx_3.$$

Значения $\frac{\partial M_1}{\partial H_1}$, $\frac{\partial M_2}{\partial H_1}$ и $\frac{\partial M_3}{\partial H_1}$ легко найти, взяв частные производные от выражений моментов по H_1 .

Остается одно неизвестное H_1 , которое находим без труда. Основные размеры фермы так подбираем, чтобы реакции опор А и В были направлены вверх при рабочем положении ферм.

§ 5. Плотина Тавернье.

Если требуется получить над уровнем воды при поднятых щитах большую высоту свободного сечения, то сооружают мостовые плотины, т.е. вместо служебных мостиков пользуются мостами с солидным верхним строением, с которого производится вертикальный подъем щитов или уборка шарнирных промежуточных стоек, разделяющих пролеты между быками моста и перекрываемых щитами.

При шлюзовании реки Рены встретились с невозможностью применить фермы Поаре ввиду большого количества крупных наносов, которые несет река Рона.

При таких обстоятельствах пришлось отказаться от применения затворов, складывающихся на флютбете при их открытии.

В силу изложенного пришлось строить мостовую плотину со спускающимися с моста стойками, одним концом шарнирно прикрепленными к поясу моста, а другим опирающимися на порог флютбета плотины.

Примером такого сооружения является плотина на реке Сене у Поз. Подпор плотины равен 4,18 м (см. черт. № 298).

Плотина имеет 7 пролетов с разной глубиной заложения порога: от 3-х до 5 метров ниже подпорного горизонта.

Пролеты образованы быками, имеющими толщину 4 метра, поддерживающими мост балочной системы.

В нижней части моста прикреплена горизонтальная ось, вокруг которой вращаются стойки, упирающиеся в порог в положении, почти вертикальном. Стойки соединены вместе по 4 и образуют рамы.

На рамы надеваются шарнирные шторы, образующие затвор.

Чтобы открыть пролет, надо свернуть шторы и поднять рамы к верховому месту. Пролет освобождается.

На маневровом мосту уложены два рельсовых пути: один предназначен для передвижения лебедки, управляющей рамами, а другой — для передвижения крана, поднимающего и опускающего шторы.

Нижний мост (черт. № 298, правый мост) воспринимает горизонтальные усилия, вызываемые давлением воды на шторы и следовательно на стойки.

Рельсовый путь на нижнем мосту служит для передвижения домкрата для поднятия рам.

Длина стоек — 11,62 м при уклоне в 0,005 м на 1 пог. метр длины. Стойки соединены попарно при общей ширине в 0,91 м.

Расстояние в чистоте между соседними парами стоек равно 0,25 м.

Две пары стоек составляют раму, связанную 4-мя поперечинами из углового и листового железа.

Со стороны нижнего бьефа на 1 метр выше горизонта верхнего бьефа устроен служебный мостик с рельсовым путем по нему (см. черт. № 298). Мостик может быть убран вместе со стойками, ибо он соединен с ними шарниром.

Расстояние между рельсами равно 0,55 м.

По рельсовому пути перемещается лебедка, маневрирующая шторами.

Для открытия пролета плотины сначала наматывается штора при помощи лебедки со служебного мостика.

Затем выступает лебедка верхнего моста для маневров с рамами.

С лебедки отпускают цепи.

Рабочие на служебном мостике захватывают концы цепей и прикрепляют их к раме.

Мостик также закрепляется на рамах.

Лебедка пускается в ход.

Поднятая рама прикрепляется к настилу при помощи цепей.

Цепи лебедки освобождаются и лебедка передвигается дальше.

Средняя продолжительность маневра с рамами равна для *ручной* лебедки:

поднятие — 30 минут

спуск — 10,5 „

для *паровой* лебедки:

поднятие — 13,50 мин.

спуск — 9,5 „

При электрической лебедке продолжительность маневров еще уменьшается.

В случае нагромождения льда при глухой конструкции опор стоек подъем рам был бы весьма затруднителен, а иногда даже невозможен.

Конструкция на этот случай предусматривает возможность движения вверх концов оси в особых вертикальных салазках.

Длина салазок дает возможность приподнять раму, чтобы нижний конец стоек мог освободиться от порога, в который он упирается.

Рамы отгибаются в сторону нижнего бьефа, и лед может быть пропущен.

Поднятие рам происходит домкратом, установленным на тележке, перемещающейся на нижнем маневровом мосту.

Плотина Тавернье, как и другие мостовые плотины, отличается дороговизной от прочих разборчатых плотин.

Капитально устроенная мостовая плотина должна обеспечивать максимальный габарит, необходимый для прохода судов.

Следовательно, она должна быть очень высока, что еще более удорожает сооружение.

В таких случаях, правда, прибегают к устройству поворотных мостов, освобождающих пролет после уборки затворов плотины (канал St-Mary в Сев. Америке, Панамский канал), что придает конструкции большую целесообразность. Но и в этом случае затвор Тавернье все же считается весьма дорогим.

§ 6. Плотина Тенара.

В 1828 году Тенар, получивший в свое ведение улучшение судоходных условий р. Иль, нашел на этой реке несколько старых плотин, производивших сильный подтоп вышележащих местностей во время прохода высоких вод, но не обеспечивающих в то же время надлежащей глубины воды для судоходства в межень.

Для устранения недостатков шлюзования реки, Тенар предложил заменить старые плотины новыми с пониженными флютбетами, с установкой на них щитов особой конструкции.

Первая плотина была устроена в 1831 году и имела вид, показанный на черт. №№ 299—300.

Кроме обычных щитов «а», предусмотрены вспомогательные щиты «б», вращающиеся на горизонтальных осях и удерживаемые при помощи цепей в вертикальном положении при действии напора воды.

Цепи прикреплены к сваям, забитым с верховой стороны флютбета.

При открытых щитах «а» и «б» плотина имеет вид, изображенный на черт. № 299, и вспомогательные щиты удерживаются от подъема водой при помощи замков с пружинными шеколдами, которые заскакивают за крючья, прикрепленные к насадке, уложенной по упомянутым сваям выше флютбета.

Когда щиты «а» подняты, щиты «б» падают сами собой и застегиваются.

Щиты падают под напором воды, если удерживающие их пята подкосов столкнутся с упоров.

Сталкивание пят подкосов с упоров производится при помощи горизонтальной рейки с пятами. Рейка приводится в движение зубчатым приводом, расположенным на берегу.

Вспомогательные щиты «б» такою же рейкой отстегиваются от крючьев, удерживающих щиты в горизонтальном положении.

Действует затвор следующим образом.

После открытия плотины для пропуска паводка сначала отстегиваются вспомогательные щиты «б».

Когда горизонт воды нижнего бьефа понизится до уровня флютбета, вручную поднимаются щиты «а».

Под действием щитов «а» давление воды на щиты «б» с обеих сторон уравнивается, щиты сами падают и застегиваются.

Система Тенара не годится, если недопустимо временное понижение горизонта воды нижнего бьефа до уровня флютбета.

Система Поаре, в силу указанного недостатка, быстро вытеснила систему Тенара, не удовлетворяя в то же время требованию быстрого пропуска паводка.

Кроме того, щиты Тенара по эксплуатационным соображениям не могут быть больше 1,60 м (0,75 саж.) высотой, иначе подъем щитов был бы затруднителен. Правда, плотины Тенара с некоторыми усовершенствованиями нашли себе применение в оросительных работах Индии при больших размерах щитов.

Усовершенствования были внесены инженером Фуракрес.

§ 7. Плотина Шаноана.

Описание.

В § 6 при описании плотины Тенара было упомянуто, что система Тенара была вытеснена системой Поаре.

Между тем затвор системы Поаре не дает возможности быстро пропускать паводки.

Поэтому, усовершенствовав систему Тенара, в 1852 году Шаноан предложил для водосливов щиты, вращающиеся на горизонтальных осях, расположенных не внизу щитов, а на некоторой высоте от низа и при том укрепленных в подвижной раме.

Система Шаноана окончательно была выработана и в первый раз применена в 1857 году и затем получила широкое распространение во Франции и других странах, успешно применяясь в случае необходимости пропускать внезапные паводки.

Сущность конструкции заключается в следующем.

Щит вращается около оси, помещенной вблизи центра давления воды, т.е. между $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$ высоты щита, считая от низа его (правильнее от 0,36 до 0,49 высоты).

Поднятый щит опирается нижней кромкой о порог, устроенный на флютбете.

Горизонтальная ось вращения щита соединена с подкосом и рамой, шарнирно укрепленной во флютбете (см. черт. № 301).

Рама удерживается подкосом, который упирается в чугунный выступ на флютбете.

Щит остается поднятым, пока центр давления воды находится ниже оси вращения щита.

С повышением подпорного горизонта воды и с увеличением давления на более длинную верхнюю часть, щит опрокидывается и освобождает отверстие для прохода воды.

Подкосы управляются рейкой, как и в системе Тенара.

Рейка выводит подкос из упора, подкос скользит и щит падает.

Падая, щит встречает слой воды нижнего бьефа, чем уменьшается скорость падения и ослабляется удар.

Подъем и установка опущенных щитов производятся с лодки.

При помощи багра зацепляют крюк с канатом за проушину, заделанную внизу щита.

Навивая канат на ворот, тянут щит против течения, при чем щит, вращаясь на раме, тянет за собой раму и подкос.

Когда последний упрется пятою своей в чугунный выступ, щит опускают, и он силой течения приводится в положение, отвечающее закрытому состоянию плотины.

При тяжелых щитах и больших подпорах маневры с лодки становятся затруднительными.

Поэтому приходится устраивать впереди плотины служебный мостик из ферм Поаре облегченного типа.

Все манипуляции производятся со служебного мостика, который по миновании надобности разбирается подобно тому, как разбирается плотина Поаре.

Описанный затвор Шаноана не может сам притти в прежнее положение после прохода паводка.

После нескольких попыток достигнуть полной автоматичности действия затвора Шаноан отказался от этой мысли.

Необходимо обратить особое внимание на положение оси вращения щита.

Если она совпадает с центром давления, то щит совсем неустойчив и при самом незначительном повышении горизонта воды верхнего или нижнего бьефа щит опрокидывается.

Если ось вращения расположена посреди высоты щита, щит не опрокинется ни при каком повышении горизонта воды.

Преувеличенная чувствительность щита к повышению горизонта воды представляет существенные неудобства.

Если один или несколько щитов почему-либо перевернутся, вода в нижнем бьефе займет высший горизонт, вследствие чего падают и другие щиты.

Происходит неожиданный паводок.

Так, в 1879 году на Верхней Сене щиты Шаноана падали сами 202 раза в течение 215 дней своей работы.

Практика дает указание, что нижняя часть щита часто делается около 0,36 всей его длины, если порог флютбета поднят; при пониженном флютбете нижняя часть достигает 0,49 общей длины.

Естественно, в каждом отдельном случае необходимо расчетом найти выгоднейшее соотношение верхней и нижней частей щита, руководствуясь приведенными данными лишь предварительно.

Наличие рейки на катках, выводящей подкосы из их упоров, — крупный недостаток затвора Шаноана, ибо она плохо действует, быстро срабатывается и требует частого ремонта.

Различные усовершенствования рейки не устранили крупных ее недостатков.

Крупное улучшение было введено инженером Паско (Pasqueau) который предложил упорную коробку своей системы, при чем надобность в рейке при этом отпала.

Коробка Паско имеет два выступа: один полукруглый — в плане — упорный, а другой (ближе к верховому концу коробки) — наклонный к оси коробки: на нем пята подкоса держаться не может и скользит по коробке вбок и вниз по течению (см. черт. № 302).

Установка затворов происходит так же, как и в случае коробки Шаноана.

Для укладки щита достаточно потянуть за цепь нижней его части, чтобы перевернуть.

Затем надо продолжать тянуть до тех пор, пока подкос не перескочит чрез уступ. Тогда начинают спускать цепь.

Подкос направляется к желобу, и щит плавно ложится на флютбет.

С устранением рейки щиты становятся независимыми друг-от-друга.

Плотины системы Шаноана распространены в Америке и во Франции.

Щиты Шаноана имеют между собой зазор в 0,10 м — 0,05 м и по водонепроницаемости занимают среднее положение между спицевыми и щитовыми затворами ферм Поаре.

Зазоры между щитами легко перекрыть рейками, хотя наличие реек — недостаток плотины, ибо усложняется маневрирование затворами.

Сумма расходов чрез зазоры должна быть во всяком случае меньше остающейся части межвенного расхода реки по использовании его для других надобностей.

Коробка Паско, внося усовершенствование в конструкцию затвора Шаноана, в то же время лишила ее одного из достоинств: быстрого открытия отверстий плотины при помощи рейки.

Так в Melun на Верхней Сене пролет в 65,10 м открывался в 5 мин. 15 сек. благодаря наличию рейки.

Плотина Mulatière у гор. Лиона на р. Saône имеет пролет 103,6 метра и открывалась в 4,5 часа при помощи маневров со служебного мостика (коробка Паско).

Приведенные примеры ярко иллюстрируют достоинства рейки в смысле быстроты освобождения отверстия плотины.

Применение коробки Паско в отношении быстроты открытия отверстия ставит плотину Шаноана не выше плотины Поаре.

Быстроту открытия особенно приходится ценить при появлении льда.

Сохраняя за щитами Шаноана автоматичность действия при пропуске паводка, все же лучше уменьшать чувствительность щигов, создавая более удобные условия эксплуатации плотины.

Теперь относительно служебного мостика из ферм Поаре.

Мостик улучшает условия эксплуатации, но является все же недостатком системы Шаноана, так как вызывает уширение флютбета, а также расходы

на устройство самых ферм, которые делаются все же достаточно солидными, далеко не в соответствии с вертикальной нагрузкой, выдерживаемой ими: это вызывается неблагоприятными условиями работы ферм при подъеме их и опускании, вследствие чего фермы получают по весу близкими к фермам со спицевыми затворами.

В таком случае приходим к заключению, что плотина Шаноана вызывает расходы почти на 2 плотины: собственно Шаноана и почти полную плотину Поаре.

Конечно, существуют плотины Шаноана и без служебного мостика, а маневры производятся с помощью судна (ваплаву).

Однако, такое устройство представляется значительно менее удобным.

Необходимо упомянуть на применение в щите Шаноана (вверху) особого щитка, позволяющего регулировать небольшие расходы (см. черт. № 301). Опыт их устройства показал, что щитки хороши при управлении вручную, но не при автоматическом действии. Основное назначение их сначала было — возвращать щиту устойчивость при некоторых колебаниях горизонта верхнего бьефа.

Расчет затвора Шаноана.

Высота гребня щитов. Гребень щитов располагают как-раз на уровне подпорного горизонта без всякого запаса, ибо он ненужен, а был бы скорее вреден, вызывая затрату лишних усилий при маневрировании щитом.

Расстояние между щитами. Расстояние между щитами, как было выше упомянуто, не должно быть чрезмерно большим и во всяком случае должно отвечать части меженного расхода, остающегося неиспользованным в реке.

Обычно берут зазор между щитами в 0,05 м — 0,10 м.

Расход воды через элемент щели adx выше горизонта нижнего бьефа равен

$$dq_1 = \mu \cdot \frac{adx}{Sna} \sqrt{2gx}$$

и

$$q_1 = \frac{\mu \cdot a}{Sna} \cdot \int_0^H \sqrt{2gx} \cdot dx = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu aH}{Sna} \sqrt{2gH} \text{ (черт. 303).}$$

Расход через всю часть щели ниже горизонта нижнего бьефа

$$q_2 = \frac{\mu ah}{Sna} \cdot \sqrt{2g} \cdot H.$$

Весь расход через щель равен

$$q = q_1 + q_2 = \left(\frac{2H}{3} + h \right) \frac{\mu a \sqrt{2gH}}{Sna}.$$

Принимая $\mu = 0,60$ и число щелей равным N , найдем общий расход чрез все отверстие плотины, закрытое щитами Шаноана:

$$Q = 0,6 \cdot N \left(\frac{2 \cdot H}{3} + h \right) \frac{a \sqrt{2gH}}{Sna}.$$

В действительности расход может оказаться меньше: μ может оказаться не больше 0,4—0,5.

Пример—черт. № 304, когда имеем двойное сжатие струи между швеллерами: в больших щитах металл необходим.

Ширина щитов. Ширина щитов зависит от принятой конструкции и от подъемной силы, которою можно располагать при маневрах.

На Верхней Сене щитам в 2 метра высоты давали ширину в 1,30 м
 » » » » » 3 » » » » 1,20 »
 » » » » » 3,83 » » » » 1,00 »

На Saône щитам в 3,62 метра длины давали ширину в 1,10 м.

Таким образом, ширина берется в зависимости от высоты, чтобы не повышать чрезмерно статического давления на щиты пропорционального $B \cdot K^2$, где B — ширина щита и K — его высота.

Положение оси вращения щита. Рассмотрим отдельный щит в закрытом положении (№ 305).

Пусть H — величина его вертикальной проекции.

α — угол, составляемый им с вертикалью,

u — толщина слоя воды, переливающейся чрез гребень щита,

h — превышение горизонта нижнего бьефа над подошвой щита.

Давление на 1 метр ширины щита со стороны верхнего бьефа $P_1 = \frac{H(H+2u)}{2 \cos \alpha}$ — все в тоннах и метрах.

Момент этого давления относительно подошвы щита равен $M_1 = \frac{H^2(H+3u)}{6 \cos^2 \alpha}$,
 ибо плечо момента равно $\frac{H}{3} \frac{H+3u}{(H+2u) \cos \alpha}$.

Давление с низовой стороны равно на 1 пог. метр ширины щита $P_2 = \frac{h^2}{2 \cos \alpha}$ и момент этого давления относительно подошвы щита равен $M_2 = \frac{h^3}{6 \cos^2 \alpha}$.

Равнодействующая давлений P_1 и P_2 равна

$$P_1 - P_2 = \frac{H(H+2u) - h^2}{2 \cos \alpha}.$$

Расстояние точки приложения равнодействующей от подошвы щита

$$t = \frac{M_1 - M_2}{P_1 - P_2} = \frac{H^2(H+3u) - h^3}{3 \cos \alpha [H(H+2u) - h^2]}.$$

В судоходных отверстиях плотин затворы Шавоана не должны вращаться сами собой во избежание нежелательных последствий (обмеление в. бьефа, сильное течение перед плотиной, опасное для судов и т. п.).

Так как величины h и u колеблются, и нельзя установить точные их значения, то Lagrené советует давать h максимальное значение, которое оно вообще может иметь, т. е. принять

$$h = H.$$

Тогда выражение для t обратится в другое:

$$t = \frac{H}{2 \cos \alpha},$$

т. е. при всякой величине u равнодействующая $P_1 - P_2$ всегда проходит через середину щита.

На этой высоте Lagrené и советует располагать ось вращения щита в судоводных отверстиях, указывая, что возвышение оси щита в $5/12$ длины оказалось недостаточным на Марне, Ионне и В. Сене.

В водосливных отверстиях щиты должны автоматически открываться при повышении подпорного горизонта на определенную, заранее заданную величину на случай недосмотра.

Установку щитов рациональнее производить со служебного мостика.

Гребень щитов лучше располагать в уровне подпорного горизонта.

Мы нашли

$$t = \frac{H^2(H + 3u) - h^3}{3 \cos \alpha [H(H + 2u) - h^2]}.$$

Так как h не вполне определенная величина, а меняющаяся, то точного расчета быть не может.

Lagrené предлагает следующий беглый расчет.

Придаем h некоторое среднее значение из тех, какое h может иметь, больше величины превышения горизонта нижнего бьефа (в межень) подошвы щита.

Найдем затем положение оси вращения при условии, чтобы щит получал вращение при среднем значении u , и затем посмотрим, при каком значении u щит вращается при крайнем значении h .

Последняя поверка покажет, следует ли оставить ось вращения щита на принятой высоте или ось нужно передвинуть вверх или вниз.

Расчет, конечно, может меняться в зависимости от некоторых местных особенностей.

Примем, что среднее значение h равно высоте оси вращения щита над его подошвой, а среднее значение u , при котором начинается вращение щита, равно $u = 0,10 \cdot H$ (см. черт. № 306).

Если вертикальная проекция нижней части щита равна $H \cdot x$, где $x < 1$, то выражение для t примет вид:

$$3x = \frac{1,03 - x^3}{1,02 - x^2}$$

или

$$x^3 - 1,5 \cdot x + 0,512 = 0,$$

откуда $x = \approx 0,37$.

Итак $H \cdot x = 0,37 \cdot H$, т.-е. нижняя часть щита равна $0,37$ от всей длины щита.

Полученное значение $H \cdot x$ поверяем для крайнего значения h , именно $h = 0$.

При $h = 0$ находим u из уравнения:

$$3 \cdot 0,37 \cdot H = \frac{H(H + 3 \cdot u)}{H + 2 \cdot u},$$

откуда $u = 0,258 H$.

Если найденное значение u допустимо, то положение оси можно принять на высоте $0,37 \cdot H$ от порога щита.

Здесь приведен примерный ход расчета, при чем предположения при расчете могут быть, естественно, иные, чем в данном случае.

Угол наклона щита. Выясним, при каком угле наклона происходит наиболее выгодное распределение усилий в подкосе, раме и самом щите.

Пусть $\angle JAO = \alpha$ (см. черт. № 307),

$\angle ODK = \beta$, где

АО — плоскость щита,

ОВ — „ рамы,

OD — ось подкоса,

KD — вертикаль.

H — вертикальная проекция установленного щита,

l — длина щита, равная $\frac{H}{\cos \alpha}$,

Q — нормальное к плоскости щита давление, передающееся чрез ось щита.

S — составляющая сила Q по линии подкоса OD

T — „ „ в плоскости ОВ (плоскость рамы),

u — толщина переливающегося слоя воды.

Невыгоднейший случай имеем, когда со стороны нижнего бьефа нет давления на щит.

Выше мы нашли:

$$M_1 - M_2 = \frac{H^2(H + 3u) - h^3}{6 \cos^2 \alpha}.$$

При $h = 0$ получим

$$M_1 - M_2 = \frac{H^2(H + 3u)}{6 \cos^2 \alpha}.$$

Если щиты устроены в судоходной части плотины, то ось вращения щита помещается в середине щита, и

$$Q = \frac{2 \cdot H^2 \cdot (H + 3u)}{6 l \cos^2 \alpha} = \frac{2H^2 \cos \alpha (H + 3u)}{6 H \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{H(H + 3u)}{3 \cos \alpha}.$$

Рама ОВ обычно составляет с вертикалью угол в 5° , наклоненная в сторону верхнего бьефа.

При таком расположении рамы, легче установка подкоса, ибо центр тяжести щита при этом выше по течению нижней оси В вращения рамы. Длины АВ и ОВ выразим чрез H.

$$AB = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha + 5^\circ)}{\cos \alpha \cdot \cos 5^\circ} \quad \text{и} \quad OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ}.$$

Величина BD определяется следующим образом.

Отложим от точки В величину ВС = ОВ.

На протяжении ВС ляжет рама при уложенном щите.

Для рейки берем 0,50 м — 0,60 м вправо от точки С. Получим точку D — начало упорной коробки и точку опоры подкоса.

Пусть CD = b,

Тогда

$$OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ},$$

$$BD = \frac{H}{2 \cos 5^\circ} + b,$$

$$\frac{OB}{BD} = \frac{\cos \beta}{\sin(\beta - 5^\circ)},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{\cos 5^\circ} + \operatorname{tg} 5^\circ + \frac{2b}{H}.$$

Если предположить, что угол α изменяется при постоянной величине H и неизменном положении точки А, то треугольник BOD лишь переместится параллельно себе, скользя по основанию AD.

Следовательно, при заданной величине H и высоте оси вращения $\frac{H}{2}$ имеем тем самым уже заданными наклон и длину рамы и подкоса, а меняя угол α , изменим только длину l щита и толщину порога АВ.

Найдем величины S и T сил, действующих по оси подкоса и в плоскости рамы.

$$S = Q \cdot \frac{\cos(\alpha + 5^\circ)}{\sin(\beta - 5^\circ)}$$

и

$$T = Q \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin(\beta - 5^\circ)}.$$

Подставив вместо Q величину

$$\frac{H(H + 3u)}{3 \cos \alpha},$$

получим:

$$S = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos(\alpha + 5^\circ)}{3 \sin(\beta - 5^\circ) \cdot \cos \alpha}$$

и

$$T = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos(\alpha + \beta)}{3 \sin(\beta - 5^\circ) \cdot \cos \alpha}.$$

Максимум T и S получится при $\alpha = 0$.

С увеличением угла α величины T и S уменьшаются до нуля, затем переходят в отрицательные и наконец обращаются в бесконечность при $\alpha = 90^\circ$.

Сила T вырывает раму; T равно нулю при $\alpha + \beta = 90^\circ$.

В этом случае подкос \perp щиту. Длина $l = \frac{H}{\cos \alpha}$ получается приэтом слишком большой и невыгодной.

Нельзя дать общее правило для выбора угла α .

Довольно хорошие результаты получаются, если дать α значение, равное половине того, при коем $T = 0$.

Лучше всего каждый раз исследовать вопрос, составив таблицу значений величин, l , Q , S и T при α от нуля до $\alpha = 90 - \beta$.

Таблица могла бы иметь вид:

α	l	Q	S	T	M
0°					
5°					
10°					
15°					
—					
—					
—					
—					
$90 - \beta$					

Величина M таблицы равна

$$\frac{H^2 \left(\frac{H}{2} + 3u \right)}{24 \cos \alpha}$$

и выражает максимальный изгибающий момент в свешивающейся части щита.

Рассмотрим тот же вопрос в случае применения щитов Шаноана в водосливной части плотины.

Чертеж № 306 изображает схему затвора для этого случая.

Раньше мы нашли величину момента верхового давления воды на щит (низовым давлением пренебрегаем).

Она равна

$$\frac{H^2(H + 3u)}{6 \cos \alpha}.$$

Так как в нашем примерном расчете

$$AO = \frac{0,37 \cdot H}{\cos \alpha} = 0,37 \cdot 1,$$

то

$$Q = \frac{H^2 \cdot (H + 3u)}{6 \cos \alpha} \cdot \frac{\cos \alpha}{0,37 H} = \frac{H \cdot (H + 3u)}{2,22 \cos \alpha}.$$

При вертикальной раме

$$S = Q \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} = \frac{H(H + 3 \cdot u)}{2,22 \sin \beta}$$

и

$$T = Q \cdot \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos (\alpha + \beta)}{2,22 \cos \alpha \cdot \sin \beta};$$

BD должно равняться длине рамы OB плюс около 0,40 м для пропуска рейк

Значит

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,37 H + 0,40 \text{ м}}{0,37 \cdot H}.$$

При $\alpha + \beta = 90^\circ$ усилие $T = 0$, но щит и свешивающаяся его часть получают недопустимо большими.

По Lagrené надо брать α , как и в судоходных отверстиях т.-е., равное половине того, при кдеи $T = 0$; другими словами

$$\alpha = \frac{1}{2} (90 - \beta).$$

Расчет щита. Каждый щит состоит из 2—4 длинных деревянных ребер (см. черт. №№ 308 — 309), соединенных деревянными поперечинами и железными связями. Полученная рама зашивается досками. По Guillemain'у лучше всего брать 2 ребра. Рассмотрим этот случай.

Изгибающий момент в свешивающейся части ребра равен

$$M_x = \frac{x^2(x + 3u)}{6 \cos^2 \alpha},$$

где x —глубина рассматриваемого сечения под горизонтом верхнего бьефа.

$$M_{\max} \text{ имеем при } x = \frac{H}{2}.$$

$$M_{\max} = \frac{H^2 \left(\frac{H}{2} + 3 \cdot u \right)}{24 \cos^2 \alpha} \cdot B,$$

где B —ширина щита.

Пусть ширина ребра равна «а», толщина — «b» и допускаемое напряжение на изгиб равно R.

Тогда

$$\frac{R \cdot ab^2}{6} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000 \cdot H^2 \left(\frac{H}{2} + 3u \right)}{24 \cos^2 \alpha} \cdot B,$$

при чем все выражено в метрах и килограммах.

Число ребер принято равным 2.

Отсюда находим величины *a* и *b*.

Поперечины располагаем согласно эпюре нагрузки на щит, т.-е. чаще к подошве щита.

Обшивка щитов делается из 5 см (2") досок.

Допускаемое напряжение на изгиб R необходимо брать с осторожностью, ибо щиты испытывают динамическое давление при открытых соседних пролетах.

Лучше всего уменьшать R в 1½—2 раза.

Подкос щита. По Guillemain'у для больших подпоров длина подкоса берется примерно равной длине щита.

Вообще говоря, она находится указанным выше способом.

Подкос устраивается в виде прямолинейного стержня или в виде стержня с крюком в верхней части.

Крюк часто устраивается, чтобы под уложенным подкосом оставалось место для рейки. В противном случае пришлось бы устраивать специальное углубление в флютбете, как это и делается при прямолинейном подкосе.

Нижняя часть подкоса делается более массивною, чтобы конструкция обладала жесткостью и прочностью даже при ударах воды, вращающей щит, а также при ударах плавающих тел.

Сжимающая подкос сила

$$S = \frac{H (H + 3 \cdot u)}{3 \sin (\beta - 5^\circ)} \cdot \frac{\cos \alpha (\alpha + 5^\circ)}{\cos \alpha} \cdot B,$$

где B — ширина щита.

При эксцентрическом действии силы, при наличии упомянуто крюка в верхней части, работа подкоса будет происходить в других условиях.

Пусть *r* — радиус сечения подкоса (подкосы обычно делают круглые) *e* — эксцентриситет, *m*₁ — добавочное напряжение в подкосе в силу эксцентриситета.

Изгибающий момент равен *S* · *e*, момент сопротивления подкоса

$$W = \frac{\pi r^3}{4}$$

и

$$S \cdot e = m_1 \cdot \frac{\pi r^3}{4},$$

откуда

$$m_1 = \frac{4 \cdot S \cdot e}{\pi \cdot r^3}.$$

Напряжение m_1 надо прибавить к основному напряжению

$$m = \frac{S}{\pi \cdot r^2}.$$

Полное напряжение в подкосе равно

$$m + m_1 = \frac{S}{\pi r^2} \left(1 + \frac{4\epsilon}{r} \right).$$

При $\epsilon = r$ — напряжение в подкосе становится в 5 раз больше напряжения при центральном действии силы S . Отсюда видим, насколько важно значение эксцентриситета.

Рама. Рама обычно имеет трапециевидальную форму (см. черт. № 310) и состоит из двух стоек и ряда поперечин.

Верхняя поперечина служит осью вращения щита, а нижняя — осью вращения самой рамы. Рама испытывает вытягивающие усилия, но подвержена также ударам (см. выше).

При подъеме лежащего щита стойки рамы (вместе) сжимаются силой, равной равнодействующей двух сил: веса всего затвора в целом и натяжения цепи поднимающей щит.

Величина T выше была найдена. Сделав поверку на растяжение, все же сравниваем полученные размеры с размерами стоек рам благополучно существующих плотин.

Это приходится сказать и о подкосе — в виду недостаточной определенности величин возникающих усилий.

Верхняя поперечина рассматривается, как балка, закрепленная в середине. К каждой половине поперечины приложены две силы: сила $\frac{Q}{2}$ — плоскости щита и $\frac{T}{2}$, растягивающая стойку рамы.

Пусть n_1 — расстояние между осью рамы и точкой пересечения оси стойки с осью вращения; n_2 — расстояние между осью рамы и серединой шипа. Имеем два момента сил, действующих на поперечину. Первый момент равен $\frac{T}{2} \cdot n_1$ и второй момент $\frac{Q \cdot n_2}{2}$.

$$M \text{ равнодействующий} = \sqrt{\left(\frac{T \cdot n_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q \cdot n_2}{2}\right)^2 + \frac{T \cdot Q n_1 \cdot n_2}{2} \cos \delta},$$

где δ — угол между осями моментов. Шипы необходимо повернуть на срезывание. Остальные части конструкции берутся по имеющимся образцам существующих конструкций, за исключением тех, что могут быть найдены простым расчетом.

Раздел IV. Разборчатые плотины, работающие при действии силы подпора воды.

§ 1. Плотины Дефонтена, Жирара, Крантца, Делля и секторные плотины.

Плотина Дефонтена. Плотина системы Дефонтена впервые была применена на Марне (1857 г.) и закрывала отверстия от 30,00 м. до 63,00 м.

В дальнейшем этот тип нашел себе применение преимущественно для запираания плотовых и судовых ходов, благодаря способности плотины Дефон-

тена быстро открывать пролет и также быстро закрывать его без значительной потери воды.

Сущность устройства заключается в следующем (черт. №№ 311—312).

Вдоль флютбета, внутри его, устраивается канал А, закрытый сверху плотной крышкой В, на которой укреплена ось вращения щита О, состоящего из собственно щита (верхний прямолинейный конец) и контр-щита (нижний, изогнутый конец, помещающийся в канале А), служащего для вращения затвора.

На всем перекрываемом отверстии канал делится на отсеки чугунными, диафрагмами, задельяемыми в кладку примерно на 0,10 м.

Каждая диафрагма имеет 2 отверстия: одно с верховой стороны, а другое — с низовой.

Щит опирается концами на диафрагмы.

Контр-щит при движении описывает концом четверть окружности.

Изогнутость контр-щита позволяет удобно располагать отверстия водопроводов, открытых при крайних положениях щита (см. черт. № 311).

При закрытом отверстии щит занимает вертикальное положение, и галерея «а» сообщена с верхним бьефом. Так как давление воды на контр-щит больше, нежели на щит, то последний удерживается в вертикальном положении.

Если соединить верховой водопровод (а) с нижним бьефом, то контр-щит испытывает одинаковое давление с обеих сторон, почему щит падает под напором воды на него.

Соединяя низовой водопровод (б) с верхним бьефом, маневр ускоряем.

При поднятии щита, соединяют верховой водопровод с верхним бьефом, а низовой — с нижним бьефом.

Маневры производятся при помощи водопроводных каналов в устье и быке, снабженных задвижками.

Задвижки приводятся в движение одним балансиром так, что с открытием одной водопроводной галереи другая закрывается.

С другой стороны, задвижки связаны между собою так, что при сообщении верхового канала с верхним бьефом, низовой соединяется с нижним и обратно.

Плавающие тела не оказывают вреда, ибо при давлении щит наклоняется, освобождая проход, и не подвергается никакой порче.

Крупнейшими недостатками затвора являются подверженность занесению песком и илом камеры флютбета, вследствие чего работа щита становится не вполне исправной, а также потребность в толстом флютбете для устройства каналов.

Затворы Дефонтена применяются при небольших подпорах, главным образом совместно с плотинами другой системы, закрытие которых обеспечивает разность горизонтов, достаточную для приведения щита в действие.

Некоторые данные о расчете затвора Дефонтена можно найти в книге инж. Акулова—Материалы для проектирования французских водоподъемных плотин.

Мы не приводим здесь никаких сведений о расчете затвора в виду редкого применения его.

Плотина Жирара. Жарар предложил применять гидравлические прессы для установки и складывания щитов.

Проект был осуществлен в виде пробной установки (см. черт. №№ 313—314).

Сначала Жирар полагал воспользоваться паровой машиной для приведения в движение поршня компрессора.

Однако, вскоре ему пришла в голову мысль использовать подпор на реке Ионне, не падавший никогда ниже 0,40 м.

Подпор позволил использовать водяную турбину. Кроме турбины и компрессора на берегу был установлен аккумулятор.

Под каждый щит подведен шток поршня пресса, который соединяется по желанию впускной трубой либо с аккумулятором, либо непосредственно с компрессором.

При поднятии затвора или компрессор соединяется непосредственно с прессом, или же вода поступает в него из аккумулятора.

При складывании щитов вода выпускается из пресса.

Во избежание нежелательных толчков, скорость движения поршня пресса не превосходила 10 см. в секунду.

Так как каждый пресс имеет собственную впускную трубу с краном, можно по желанию приводить в движение каждый щит, несколько щитов сразу, или, наконец, все щиты одновременно.

Черт. №№ 313—314 изображают первоначальный проект затвора Жирара из 7-ми щитов для плотины при Оксер.

Зазор между соседними щитами составляет 4,5 см.

В виде предосторожности от мороза, впускные трубы были проложены в галлерее, устроенной в каменной кладке флютбета на глубине 1,50 м ниже уровня низких вод.

Затвор системы Жирара не получил никакого развития, ибо Жирар не успел доказать практичность конструкции вследствие смерти во время Франко-Прусской войны.

Все же можно было бы указать на некоторые недостатки конструкции, которыми отчасти объясняется отсутствие попыток вернуться к заброшенному проекту.

Стоимость плотины Жирара в 2,5 — 3 раза выше стоимости плотины Поаре.

Необходимость защиты от морозов ограничивает круг применения затвора.

Необходимость дополнительных механических приспособлений является нежелательной, ибо, кроме дороговизны, вызывает невыгодные условия эксплуатации.

Плотина Крантца. Складной затвор с поплавком системы Крантца изображен на черт. № 315.

При соединении пространства под поплавком с нижним бьефом, затвор принимает положение, указанное на черт. № 315.

Чтобы поплавок не всплывал, вес его должен соответствовать весу вытесняемой им воды. Этот вес может быть несколько меньше, поскольку равнодействующая, направленная вверх, не превышает сопротивлений, возникающих при движении.

Крантц рассчитал свой затвор так, что при сложенном его положении почти достигается равновесие, и для проведения затвора в движение достаточно небольшого усилия, иначе говоря, небольшого подпора воды, т.-е. разницы между уровнями воды в бьефах.

При складывании затвора, необходимо преодолеть сопротивление, возникающее от действия течения на щит.

При поднятом затворе щит должен плотно прилегать к стенке, ограждающей углубление, в котором щит поворачивается, а для такого плотного прилегания необходимо, чтобы щит не мог опрокинуться.

Если равнодействующая давления воды на щит начинает переходить кверху, стремясь перейти ось вращения щита, то в это время начинают работать «мотыльковые щиты», как это применяется при щитах Шаноана.

С открытием мотыльковых щитов, равнодействующая перемещается вниз и щит плотно прижимается нижним концом к стенке.

Практического применения затвор Кранца, повидимому, еще не получил, хотя Кранц в своих проектах предлагает применять щит даже по всей ширине реки при наличии подпора, считая, что применение щитов небольшой и средней ширины заведомо целесообразно.

Плотина Делля. Затвор Делля состоит из деревянного или железного щита, лежащего на плотно скрепленном с ним поплавке из железных щитов (черт. № 316).

Поплавок имеет овальное сечение.

В рабочем положении щит наклонен к горизонту под углом в 30° .

При возрастании расхода воды в реке, щит наклоняется и поплавок погружается глубже в камеру, пропуская над щитом более значительный расход.

Количество воды в камере остается все время в зависимости от давления воды в верхнем бьефе.

При понижении уровня воды, щит опять сам поднимается и камера снова заполняется водой. Поплавок снабжен плотно закупоренным смотровым отверстием.

Продольная щель между осью вращения и порогом плотины перекрывается особой крышкой.

Вторая щель (ниже по течению) снабжена особым уплотнением.

Поплавок разделяется переборками на несколько камер, которые можно наполнять водой для уменьшения подпора, создаваемого затвором.

Такое наполнение или опорожнение может касаться отдельных камер или всех вместе.

Плотина Читтендена. Черт. № 317 изображает профиль плотины Читтендена, спроектированной для реки Осейдж-Ривер в 1898 г.

Плотина имеет 10 отверстий по 22,80 м в свету, разделенных 9-ью быками.

В каждом устое и быке устроены галереи, соединяющиеся с верхними и нижним бьефами и ведущие к каждому пролету. Галереи закрываются деревянными щитами на роликах.

Подпор плотины = 2,13 м (1,00 саж.).

Плотина окончена постройкой в 1900 г.

Давление воды передается на плоскую часть щита.

Подъем затвора производится вытеснением воды из барабана сжатым воздухом, и давлением снизу воды верхнего бьефа.

Опускание производится впуском воды в барабан.

Впоследствии затвор Читтендена изготовлялся полностью из железа.

Везерский тип затвора.

Черт. №№ 318 — 319 изображают плотину на р. Везер, выше Бремена. Плотина построена в 1910 г. и имеет 2 пролета по 54,00 м каждый.

Особенностью являются затворы, работающие следующим образом.

Затвор вращается вокруг оси А и при открытии погружается в камеру «к» (см. схему № 320).

Поверхности *a* и *b* сектора имеют обшивку, снизу же сектор открыт.

Чрез канал В средней опоры вода верхнего бьефа поступает в камеру *k* и поднимает затвор давлением на поверхность *a* сектора.

Камера плотины соединена с трубой R_1 , в которую входит труба R_2 . В последней вода устанавливается на той же высоте, как и в камере плотины.

Если вода в камере плотины устанавливается выше трубы R_2 , то она по трубе R_2 стекает в нижний бьеф.

Поднятием и опусканием телескопически установленной трубы R_2 можно регулировать горизонт воды в секторе, а вместе с тем поднимать или опускать затвор.

Последние два затвора и многочисленные их видоизменения носят название секторных; они требуют устройства повышенной части флютбета, в силу чего они более применимы в водосливных участках плотин.

Во всяком случае секторные затворы перекрывают пролеты больших размеров, недоступные для других затворов.

Ближе всего к ним в этом отношении находятся вальцовые затворы.

§ 2. Плотина Bear-trap.

Среди самодействующих плотин, поднимающихся и опускающихся при действии силы, вызываемой подпором, видное место принадлежит двойным щитовым затворам, известным под названием Бертреп.

Плотина Бертреп и ее вариации распространены исключительно в Северной Америке, хотя принцип, по которому устроена плотина, был известен в Голландии в 1770 году при постройке шлюзных ворот. Совершенно очевидно, что применение плотины Бертреп в Пенсильвании не имело никакой связи с нидерландской практикой, вследствие чего Бертреп считается типично американской плотиной. Американец Уайт впервые (1818 г.) применил новый тип плотины на речке Mauch Chunk Creek.

На многочисленные вопросы любопытных зрителей: «что это такое», занятые постройкой рабочие, которым эти вопросы надоели, коротко отвечали, что они сооружают западню для медведей (англ. «бертреп»).

С тех пор плотина Уайта на техническом языке носит первоначальное название плотины и шлюзных ворот системы «Бертреп».

Уже в 1819 г. с большим успехом работало на одной реке Лехай 12 плотин Бертреп, примененных главным образом для целей лесосплава. Позднее они строились для той же цели и во Франции.

Первоначальное применение плотины Уайта во Франции последовало в 70-тых годах (плотина Невиль о Пон на Марне) (черт. № 321).

Плотина выстроена неудачно в силу незнакомства с практикой устройства подобного типа плотин. Размеры щитов были выбраны неправильно, детали конструкции, влияющие на работу плотины, также недостаточно осмысленны, вследствие чего для поднятия плотины понадобился подпор в 0,50 м, что было достигнуто особым затвором Тенара высотой 0,60 м, устанавливаемым с основной плотины.

Сильно удороженная таким образом плотина, конечно, считалась неудовлетворительной, в силу чего начали появляться мнения солидных инженеров о непригодности для практики плотин Бертреп.

Лагрене отзывался о плотине Бертреп, как об остроумной конструкции, недостигающей цели.

Подобные мнения начали распространяться и в Соединенных штатах, пока, наконец, американские инженеры снова не обратились к принципу Уайта.

В результате с 1886 года было построено очень много плотин Бертреп из дерева, металла, а также смешанной конструкции.

В огромном большинстве случаев эти плотины нашли себе применение в качестве частей плотин на реках для целей внутреннего судоходства и значительно реже для целей использования водной энергии.

При осуществлении проектов плотин, тип Бертреп в сущности оставался неизменным, но вносились некоторые, иногда очень заметные изменения в основную конструкцию Уайта.

Видоизменения предложили Дюбуа, Паркер, Жирар, Брюно, Ланг, Карро, Маус, Маршалл, Читтенден, Джонс и другие.

Основной принцип плотины Уайта отчетливо виден из черт. № 322, где изображена плотина Уайта на р. Охайо около Питтсбурга.

При сложенном затворе последний принимает положение, указанное пунктиром.

Для поднятия и установки затвора внутренняя треугольная камера его соединяется при посредстве входа F с верхним бьефом при закрытом щитке I и открытом щитке H.

При этом для подъема щитов нужен подпор в несколько сантиметров, независимо от рода материала щитов; вес щитов слишком мал по сравнению с весом воды, вытесняемой затвором.

От начинающегося подъема затвора возрастает подпор, что в свою очередь заставляет затвор подниматься все быстрее и быстрее, пока нижний щит не достигнет положения, соответствующего длине удерживающей его цепи. Полностью поднятый затвор показан на чертеже сплошными линиями.

Конечно, при этом необходимо, чтобы имела место водонепроницаемость щита, а также узлов A, B и D.

Изменяя равнодействующее давление на нижнюю сторону щитов при помощи установки щитков I и H в соответствующем положении, можно регулировать положение гребня затвора в пределах достижимых границ, от крайнего верхнего положения до опускания щитов на флютбет.

По этой причине затвор Бертреп особенно пригоден для устройства водослива с гребнем, регулируемым в любое время в отношении своей высоты в известных пределах.

Весьма целесообразна также конструкция Бертреп, применяемая взамен шлюзных ворот при очень широких камерах с умеренной глубиной воды особенно в виду экономии во времени, ибо затвор постепенно закрывается во время наполнения камеры водой и открывается при опорожнении, действуя в то же время, в целях ускорения отлива воды, как водослив.

Кроме того, в отличие от створчатых шлюзных ворот они не производят на стенки шлюза боковых давлений.

В применении к плотоходным отверстиям эти затворы дают возможность пропускать плоты при очень небольшой потере воды.

Тем не менее плотина Уайта вовсе не лишена недостатков.

К таковым надо отнести:

- 1) Трение щитов друг о друга;
- 2) необходимость в широком флютбете по сравнению с достигаемым подпором;

3) необходимость иметь первоначальный подпор для подъема **плотин**;

4) трудность устройства водонепроницаемых сопряжений;

5) дороговизна затворов и некоторые другие.

Однако, каждый тип разборчатых плотин имеет свои недостатки.

В данном случае они устраняются или в значительной мере ослабляются применением некоторых усовершенствований, введенных по мере распространения в практике плотины Бертреп.

В дальнейшем всюду положение плит при сложенном затворе указано пунктиром.

В случаях, когда деревянные обломки, бревна или лед перекатываются через гребень плотины, работа ее протекает в неблагоприятных условиях, чем ограничивается размер выступа верхнего щита над нижним.

Американец Дюбуа попытался устранить этот недостаток.

Он соединил оба щита в их вершине шарниром во всю длину плотины (черт. № 323).

При этом пришлось снабдить верхний щит катками для осуществления горизонтального перемещения щита (см. черт. № 323). Катки движутся в особых желобах.

Кроме того, Дюбуа значительно улучшил конструкцию Уайта, приспособив в низовой части перекрытие, показанное на черт. № 324 и служащее для защиты подвижных частей от бревен и льдин, перекатывающихся через гребень.

Дальнейшее усовершенствование было предложено французским инженером Карро и заключалось в применении перекрытия (черт. 325) над нижним краем верхового щита для защиты его от донных наносов.

В дальнейшем Карро пришел к заключению, что достаточно ограничиться железной полосой, лишь отчасти прикрывающей углубление во флютбете и даже не соприкасающейся с верхним щитом. Нижний конец верхнего щита Карро заставил перемещаться в горизонтальном направлении, применив ролики, движущиеся по двум рельсам каждый.

Дюбуа и Карро ввели ролики, а следовательно новое трение, чего не было в основном типе Уайта.

По Дюбуа и Карро построено лишь несколько мелких плотин.

Еще в 1868 г. французский инж. Жирар предложил усовершенствование, устраняющее упомянутый недостаток (см. черт. № 326). Жирар соединил щиты между собой и с основанием шарнирами в трех углах А, В и С.

Кроме того, он делит низовой щит шарниром на две части и делает его таким образом складным, достигая тем самым уменьшения потребной ширины флютбета, ибо в плотинах Уайта угол, образуемый щитами в их вершине, сильно превосходит 90°.

Вследствие смерти Жирара проект его не был осуществлен.

При постройке неудачной плотины в Невиль проект Жирара остался без всякого внимания.

Точно так же не получил осуществления проект бельгийского инженера Мауса (черт. № 327), предложенный в 1873 г. в связи с продолжением работ по шлюзованию р. Маас.

Паркер и Ланг, строители плотин в штате Висконсин, не знали усовершенствований, предложенных Жираром и Маусом, и ввели свои изменения в основной тип Уайта.

На черт. №№ 328 — 329 показаны их устройства.

В первом из этих двух проектов имеется шарнир в верховом щите (обратно устройству Жирара) с перекрытием этого щита для защиты от повреждений льдом и бревнами.

Это перекрытие, шарнирно соединенное с верховым щитом у верхнего края последнего, при складывании затвора скользит горизонтально вверх по течению реки.

Чтобы уменьшить трение, перекрытие снабжено отверстиями. При этом давление уравнивается с обеих сторон и цель достигается.

Устройство Паркера оказалось удачным.

Далее Паркер перенес шарнир с верхового щита на низовой, как показано на черт. № 330.

Последнее изменение носит название «усовершенствованного устройства Паркера» и обычно предпочитается устройству Ланга, который заменил цепью верхнюю часть верхового щита.

Из рассмотрения прилагаемой таблицы более известных выполненных плотин видно, что наибольшее применение получили типы Уайта, Паркера и Ланга.

№№ по порядку.	НАЗВАНИЕ ПЛОТИНЫ.	Число пролетов.	Пролет в метрах.	Возвыш. верхнего бьефа над порогом в метрах.	Система.	Год.
1	Neuville Au Pont	1	9,10	2,90	White	1868
2	Beattyville, Kentucky River. . .	2	18,3	3,65	"	1886 1888—9
3	Dabis Island, Ohio River	1	15,85	2,85	"	1906
4	Eeau Claire, Chippewa River. . .	1	6,1	2,12	Du Bois	1878
5	Wisconsin, Menominee River . . .	1	4,25	2,12	Parker	1888
6	Wisconsin, Milwaukee River . . .	2	7,0	4,25	"	1890
7	Tennessee	1	12,2	2,6	"	1892
8	Nevers, St. Croix River	3	24,4	4,95	Lang	1891
9	Little Falls, Missisipi River. . .	1	18,3	2,12	"	1893
10	Little Falls Chippewa River. . .	1	17,7	3,65	"	1893
11	Chippewa Falls	1	24,4	1,83	"	1894
12	Sandy Lake, Missisipi River . . .	{ 1 2	{ 3,35 12,2	{ 3,65 3,95	"	1895
13	Minneapolis, Missisipi River . . .	2	15,2	4,85	"	1897
14	Lousville, Portland Канал. . . .	2	12,2	4,85	Parker	1898
15	St-Paul, Missisipi River	2	15,5	4,20	"	1903
16	Minnesota	1	3,65	4,75	"	1904
17	Pittsburg, Allegheny River	2	28,4	{ 3,04 3,65	White	1903

№ по порядку.	НАЗВАНИЕ ПЛОТИНЫ.	Число пролетов.	Пролет в метрах.	Возвыш. верхнего бьефа над порогом в метрах.	Система.	Г о д.
18	Beaver, Ohio River.	2	36,6	4,03	White	1904
19	Freedom, „ „	1	28,4	4,13	„	1907
20	Glenfield, „ „	1	31,2	4,46	„	1906
21	Glenosborne, Ohio River	2	28,4	4,13	„	1907
22	Legionville.	2	28,4	4,13	„	1907
23	Lockport, Chic. Dr., Can	1	48,6	5,00	„	1897
24	Phoenix Oswego branch.	2	24,3	2,74	Parker	1910/11

Быстро прогрессирующее вытеснение дерева прокатным железом привело к новым формам плотины Бертреп.

Из многочисленных проектов особого внимания заслуживают предложения Маршалла.

Сущность их легко уясняется из рассмотрения чертежей №№ 331 и 332.

Интересно видоизменение Джоунса (черт. № 333) и дальнейшее изменение, внесенное Маршаллом (черт. № 334).

Первые из этих изменений имели ввиду уменьшение ширины основания и представляются более или менее применимыми в зависимости от особенностей режима реки.

Разновидность, изображенная на черт. № 334, имеет целью автоматическое заполнение и опорожнение камеры под щитами, без содействия механических приспособлений, употребляя для этого небольшое количество воды под давлением для начала подъема щитов в случаях, когда в реке нет подпора в начальный момент.

Маршалл держится того мнения, что путем устройства сети водопроводных галлерей он сможет достигнуть равномерного подъема всего гребня плотины при отверстиях, значительно превышающих 100 метров.

Приведем некоторые теоретические подсчеты для иллюстрации совокупности обстоятельств, влияющих на установление взаимных размеров частей плотины Бертреп.

При этом при всех изменениях уровня воды в реке гидростатические условия также меняются, и нас интересует всякий раз возможность самостоятельного подъема щитов, начиная с наиболее низкого их положения, а также опускания, начиная с наиболее высоко поднятого положения.

При этом было бы крайне затруднительно исходить из действительного продольного профиля зеркала воды (см. пунктир, черт. № 335) и вводить в вычисления вес щитов, часто неизвестный.

Поэтому принимается в расчет приблизительный вес щитов.

Вместо действительного очертания профиля зеркала воды введем очертание, состоящее из двух горизонтальных прямых, соединенных вертикальным уступом, отвечающим подпору h .

Ширины щитов AC и BD, удельный вес коих должен быть близок к удельному весу воды, назовем X и Y.

Для поднятия щитов вода вводится из верхнего бьефа через вход F в камеры под щитами E и в то же время закрывается выход из галлерей G.

В этот момент силы P_1 и P_2 (на 1 пог. метр длины затвора), действующие соответственно вниз и вверх у края низового щита D, равны: P_1 равна напору на верхний щит, отнесенному не к середине щита, а к точке D, за вычетом напора на него снизу, отнесенного не к точке $\frac{AD}{2}$, а в точке D, т.е.

$$P_1 = x \cdot h \cdot \gamma \cdot \frac{\frac{x}{2}}{x-z} - \frac{(x-z)h\gamma}{2} = \frac{h \cdot \gamma (xz - \frac{z^2}{2})}{x-z}$$

Давление P_2 , отнесенное не к середине расстояния y, а к точке D, равно $\frac{yh\gamma}{2}$, т.е. $P_2 = \frac{yh\gamma}{2}$.

В случае равновесия сил $P_1 = P_2$ и

$$\frac{yh\gamma}{2} = \frac{h\gamma (xz - \frac{z^2}{2})}{x-z},$$

откуда

$$y = \frac{2xz - z^2}{x-z}.$$

Однако для самостоятельного подъема необходимо, чтобы $P_2 > P_1$, т.е. чтобы $nP_2 = P_1$, где $n < 1$, вследствие чего

$$y = \frac{2xz - z^2}{n(x-z)}.$$

Так как ширина $AB = b = x + y - z$ не влияет на величину $\frac{x}{y}$ и $\frac{P_1}{P_2}$, то, принимая $b = 1$, можно вычислить y в функции от x, придавая n определенные значения между 0,5 и 1,0 (черт. № 336).

Практика показала, что наиболее желательное значение n должно заключаться между 0,80 и 0,85.

Но имеются примеры $n > 1$.

Например, есть случаи, когда $n = 1,17$; $n = 1,32$ и друг. Тем не менее плотины работают, хотя и не могут назваться правильно устроенными.

Дело в том, что в действительности при значительном подпоре нагрузки на единицу длины щита сверху и снизу не равны между собой, а давление снизу больше (см. действительный профиль зеркала воды), что и позволяет плотинам сносно работать в этих случаях.

2) При этом

$$X = \sqrt{(1-n) \cdot Y^2 - 2(1-\frac{n}{2}) \cdot Y + 1};$$

$$Y = \frac{1-\frac{n}{2}}{1-n} - \sqrt{\frac{X^2}{1-n} + \frac{1}{4}(\frac{n}{1-n})^2}, \text{ если } b = 1.$$

При этом, конечно, играет роль также благоприятное распределение веса щитов.

Что касается величины угла в вершине (у гребня), то она обычно равна $\alpha = 110^\circ$ (тип Уайта), что подтверждается теоретическими исследованиями вопроса о соблюдении условий, при коих плотина самостоятельно полностью складывается ($\alpha_{\min} = 105^\circ$). Аналогичные исследования затворов Паркера привели к теоретическому установлению границ размеров щитов. Кроме предельных положений, только что рассмотренных, нас интересует здесь также третье положение — это момент погружения гребня затвора в воду нижнего бьефа при складывании щитов. Если размеры щитов правильно подобраны для этих трех положений, то удовлетворительное функционирование затвора во всех остальных промежуточных положениях обеспечено.

При этом оказывается, что критерием правильности выбранных размеров щитов x , y и z , при коих затвор работал бы вполне исправно, является, главным образом отношение наибольшей глубины воды в нижнем бьефе h к высоте гребня затвора H , т.-е. величина $\frac{h}{H}$ (см. черт. № 337).

На черт. № 338 для нескольких значений величины $\frac{h}{H}$ нанесены границы величин $y + z$ и x .

Из этого чертежа и получается приблизительная возможная теоретическая высота полностью поднятого затвора.

Аналогичным исследованием Читтенден доказал возможность достижения более значительной высоты гребня при той же ширине основания в случае применения плотин Паркера по сравнению с плотинами Ланга.

Новые плотины Бертреп строились все больших и больших размеров щитов и в настоящее время внимание перенеслось в сторону металлических щитов.

В случаях, когда для подъема щитов нет подпора, применяют впереди затвора дополнительные щитки, поднимаемые с лодки, и наполненные воздухом мешки, находящиеся в камере под щитами и надувающиеся, при помощи ручного воздушного насоса.

Примеры.

1) Плотина по типу Уайта устроена на р. Охайо у Питтсбурга (ч. № 339).

Несмотря на то, что река Охайо подвержена необычайно быстро наступающим паводкам, несущим громадное количество бревен, льда и наносов, плотина работает превосходно, вследствие чего наблюдалось стремление снова подойти к применению чистого типа Уайта, невзирая на предложенные изменения (Дюбуа, Паркера, Ланга и друг.)

Для рассматриваемой плотины $n = 0,80$.

Возможный недостаток подпора компенсируется накачиванием воздуха в пустотелый низовой щит. Вода вытесняется через предусмотренные в щите отверстия.

В настоящее время строители плотин типа Бертреп, не отрицая достоинств деревянных щитов, не могут не отметить преимуществ металла (никелевой стали), не поддающегося ржавчине. Долговечность, прочность, конструктивность, жесткость и возможность применять сжатый воздух в начальный момент подъема характеризуют применение металла.

2) Затвор Паркера (черт. № 340) закрывает вход в камерный шлюз канала Люисвилль Портленд. Затвор построен из прокатного железа.

В заключение приведем 2 таблицы размеров щитов плотины Бертреп.

ТАБЛИЦА

для определения размеров щитов плотины *Паркера* (черт. № 337).

φ	В нижнем бьефе воды нет				$\frac{h}{H} = 0.8$				$\frac{h}{H} = 0.6$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
10°	.994	.090	.084	.173	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
20°	.975	.185	.160	.333	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
30°	.946	.280	.226	.473	.....	.....	.....	.....	.855	.322	.177	.427
40°	.905	.376	.281	.582	.968	.353	.321	.622	.784	.430	.214	.504
50°	.854	.470	.324	.654	.896	.456	.352	.686	.702	.533	.235	.537
60°	.793	.560	.353	.687	.800	.558	.358	.693	.615	.630	.245	.533
70°	.724	.645	.369	.680	.677	.660	.337	.636	.524	.716	.240	.492
80°	.649	.722	.371	.639	.542	.754	.296	.534	.432	.793	.225	.425
90°	.568	.791	.359	.563	.437	.827	.264	.437	.350	.854	.204	.350
φ	$\frac{h}{H} = 0.4$				$\frac{h}{H} = 0.2$				$\frac{h}{H} = \text{limit.}^1)$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
10°	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.9129	.137	.050	.159
20°	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.8264	.267	.093	.283
30°	.782	.362	.144	.391	.748	.383	.131	.374	.7412	.388	.128	.370
40°	.704	.471	.175	.453	.666	.492	.158	.428	.6580	.497	.155	.423
50°	.622	.572	.194	.476	.587	.590	.177	.450	.5773	.590	.167	.442
60°	.538	.664	.202	.466	.509	.678	.187	.441	.5000	.683	.183	.433
70°	.458	.744	.202	.430	.433	.755	.188	.407	.4264	.758	.185	.400
80°	.386	.810	.196	.380	.362	.820	.182	.357	.3572	.822	.179	.352
90°	.322	.864	.186	.322	.302	.871	.173	.302	.2929	.874	.167	.293

¹⁾ Случай переменной величины h .

ТАБЛИЦА

для определения размеров щитов плотины Лама¹⁾ (черт. № 337).

φ	В нижнем бьефе воды нет				$\frac{h}{H} = 0.2$				$\frac{h}{H} = 0.3$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
$42\frac{1}{2}^\circ$	....	....	....	....	....	....	....	....	.706	.485	.191	.478
45°691	.508	.199	.490
$47\frac{1}{2}^\circ$	....	....	....	....	.715	.512	.227	.528	.670	.534	.201	.494
50°	.729	.521	.250	.558	.697	.536	.233	.534	.644	.562	.205	.493
$52\frac{1}{2}^\circ$	.714	.544	.258	.567	.668	.564	.232	.530	.612	.591	.203	.486
55°	.672	.576	.249	.550	.637	.592	.229	.522	.584	.618	.202	.479
$57\frac{1}{2}^\circ$	.635	.608	.242	.536	.616	.616	.232	.520	.559	.642	.201	.472
60°	.611	.630	.241	.529	.590	.640	.230	.512	.536	.665	.201	.463
$62\frac{1}{2}^\circ$	.585	.655	.240	.519	.564	.664	.228	.500	....	....	....	....

φ	$\frac{h}{H} = 0.4$				$\frac{h}{H} = 0.6$				$\frac{h}{H} = 0.75 \text{ до } 1.00$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
$42\frac{1}{2}^\circ$	.678	.499	.177	.457	.660	.510	.170	.446	.676	.501	.177	.456
45°	.651	.529	.180	.461	.632	.539	.171	.447	.653	.528	.181	.462
$47\frac{1}{2}^\circ$	.627	.556	.183	.462	.610	.565	.175	.451	.632	.553	.185	.466
50°	.600	.584	.184	.461	.590	.589	.179	.453	.611	.578	.189	.468
$52\frac{1}{2}^\circ$	.576	.609	.185	.457	.570	.612	.182	.453	.590	.602	.192	.469
55°	.551	.634	.185	.452	.551	.634	.185	.451	.570	.625	.195	.467
$57\frac{1}{2}^\circ$	.527	.658	.185	.444	.529	.657	.186	.446	.549	.647	.196	.463
60°	.505	.680	.185	.438	.510	.678	.188	.442	.529	.669	.198	.458
$62\frac{1}{2}^\circ$	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....

¹⁾ При этом $45^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$ и $X + Y - Z = 1$. Так, при $\varphi = 50^\circ$ и $H = 3,66$ м находим в столбце $\frac{h}{H} = \text{limit}$: $X = 0,577$, $Y = 0,590$, $Z = 0,167$ и $H = 0,442$. Зная, кроме того, H в метрах, из пропорции находим X , Y и Z в метрах, умножая найденные отвлеченные числа на $\frac{3,66}{0,442} = 8,73$. То же найдем по вышеприведенной кривой.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Выбор типа водоподъемной плотины и расположение сооружений в плане.

§ 1. Выбор типа водоподъемной плотины.

Типы и конструкции водоподъемных плотин, описанные в настоящем конспекте, могут применяться в каждом данном случае или взятые в отдельности, как наиболее подходящие в рассматриваемых условиях, или совместно с другим типом или конструкцией водоподъемной плотины, чем иногда достигается лучшее решение вопроса об устройстве плотины при некоторых требованиях, одновременно предъявляемых строителю.

Выбор типа плотины зависит от цели устройства плотины, быта реки и стоимости сооружения с учетом капитализированных издержек на эксплуатацию.

Если речь идет о плотине, сооружаемой на несудоходной реке для мельничной установки, то владельцы таких установок большею частью отдают предпочтение глухим плотинам пред разборчатыми на том основании, что глухие плотины почти всегда обеспечивают возможность использования водной силы, постройка их обходится часто дешевле по сравнению с разборчатыми плотинами и эксплуатация проще и рациональнее.

Устройство в необходимых случаях плотоходов позволяет часто удер-жаться на прежнем типе глухой плотины.

При этом появляется пролет плотины с разборчатой частью, позволяющей быстро открывать и закрывать плотоходное отверстие.

С другой стороны общественные интересы, которым должны подчиняться интересы владельцев плотин, требуют, чтобы глухие плотины строились лишь в тех случаях, когда сооружение служит предметом общего пользования или когда вызываемые подпором убытки совершенно незначительны.

Действительно, каждая глухая плотина представляет собой постоянное препятствие для стока атмосферных осадков и часто влечет за собой усиление опасности от паводков.

Следовательно, в настоящее время применение глухих плотин целесообразно лишь в случае отсутствия возможности убытков от паводков.

В противном случае необходимо устранить недостаток конструкции введением по длине плотины разборчатой части или целиком перейти на разборчатую конструкцию, выбрав наиболее удачную при данных условиях.

В настоящее время разборчатые плотины применяются столь разнообразных конструкций и свойств, что приведенные выше соображения часто заставляют вовсе отказываться от глухой конструкции плотины, ибо нередко представляется возможность выбрать тип разборчатой плотины, полностью или почти полностью удовлетворяющей поставленным требованиям.

При выборе типа и конструкции водоподъемной плотины следующие вопросы могут обратить на себя внимание.

1. Цель устройства плотины (для обводнения сельскохозяйственных угодий, водоснабжения, питания судоходных каналов, использования энергии воды, сплава, превращения реки в судоходную или для комбинации из перечисленных целей);

- 2) Ширина реки, необходимый подпор и глубина реки;

3) Колебание горизонтов воды в реке и расходов; величина и характер паводков; скорости течения воды; ледяной покров; условия пропуска льда и наносов;

4) Допустимая общая ширина отверстий в свету и допустимая высота порога. Стеснение реки сооружением;

5) Высота берегов, характер угодий по берегам, условия затопления;

6) Возможная потребность в устройстве моста независимо от устройства плотины (под железную или проезжую дорогу или для пешеходного движения);

7) Минимальный расход, который необходимо оставлять в реке;

8) Геологическое строение берегов и ложа реки;

9) Условия снабжения различными строительными материалами.

10) Заработная плата и рабочий вопрос на месте работ;

11) Назначенные сроки выполнения работ по устройству плотины; технически возможное число очередей (секций) при устройстве плотины; возможный отвод реки в сторону от места работ и другие соображения.

Изложенные вопросы указывают на чрезвычайное разнообразие обстоятельств, влияющих на выбор типа и конструкции плотины.

Необходимо помнить, что пропуск льда и плавающего леса достигается наиболее простым и действительным образом, когда затвор при эгом погружается ниже подпорного горизонта.

Удаления затвора не требуется. Наоборот, наносы должны быть пропущены под нижним краем затвора, который должен позволять приподнимать его по мере надобности для пропуска наносов.

Некоторые особенности типов плотин, их назначение, преимущества, недостатки и поле применения, рассмотрены при описании каждого типа.

Основанием выбора материала для глухой водоподъемной плотины служит прежде всего геологические данные, высота сооружения, подпор и стоимость дерева, камня, железобетона и металла на месте постройки, климатические условия, при чем при значительных подпорах и скалистом грунте несомненно предпочтительна каменная или железобетонная плотина.

В остальных случаях чаще всего решающую роль играет наиболее дешевый материал.

При мягком грунте, вообще говоря, не следует устраивать глухие плотины подпором свыше 8—10 м.

В исключительных случаях возможны отклонения, но при этом конструкция плотины должна быть разработана с особой тщательностью, при чем сооружение получится очень дорогое.

Приведем краткие сведения о выборе типа разборчатой плотины.

Шандорные затворы применяются в деревянных плотинах, а также в исключительных случаях в разборчатых плотинах с постоянными стойками; чаще же всего применяются для временного закрытия отверстий умеренной ширины при умеренном подпоре или небольшой ширине и большом подпоре.

Фермы Поаре при спицевых затворах применимы на сухоходных реках, несущих не слишком большое количество наносов, если при этом допускается фильтрация через затворы.

Усовершенствования, достигнутые в отношении спицевых плотин, позволяют брать расстояние между фермами до 6,00 м и выше при глубине на пороге до 6,00 м, прибегая к применению металлических горизонтальных опор для спиц (вес опор достигает 1 т.).

При употреблении канатных линий вес опор может быть доведен до $2\frac{1}{2}$ т, как об этом свидетельствуют взгляды строителей и эксплуатирующих плотины с большими пролетами между фермами при спицевых затворах.

При этом отдельные фермы получают независимость в движениях, позволяя открывать плотину в любом месте, где этого потребует скопившийся плавающий лес или другие причины.

Фермы при этом получаются столь солидными, что вероятность их повреждения при эксплуатации становится весьма незначительной.

Спицевые затворы, позволяющие быстро открывать пролет плотины часто применяются наряду с другими затворами, более плотными и водонепроницаемыми, но менее быстро удаляемыми (пример—р. Маас в бельгийской части).

Фермы Поаре со щитами Буле применимы на судоходных реках, где не требуется быстроты разборки плотины, но важно иметь водонепроницаемые затворы.

Щитовые затворы с постоянно закрепленными стойками целесообразны на несудоходных реках с небольшим ледоходом, плавающим лесом и донными наносами; применяются при входах в каналы, подводящие воду из реки к гидростанциям и на поля для орошения.

Жалюзийные затворы непригодны для рек с обильными наносами и для рек с плавающим лесом.

Наиболее целесообразно применение жалюзийных затворов при мостовых плотинах.

Щитовые затворы на катках, закрывающие отверстия между быками из кладки, целесообразны при больших подпорах на реках всякого типа при отверстиях до 30,00 м, при средних подпорах на судоходных реках уступают место другим типам, ибо не позволяют пользоваться рекой для судоходства в высокую воду.

Затвор Тенара обладает тем недостатком, что при складывании внезапно пропускаются большие расходы воды, вызывающие большие скорости, которые могут оказаться опасными для сооружения.

Подъем и ремонт затворов этого типа происходят без затруднений. Применение возможно при небольших подпорах.

Щиты Шаноана, не лишенные первого из только что указанных недостатков, позволяют быстро пропускать паводок при наличии рейки с пятками.

Неисправность работы рейки является крупным недостатком затвора.

Крупное достоинство — быстрота пропуска паводков. Предельный пролет—50 метр.

При наличии коробки Паско щиты Шаноана в судоходных реках мало выигрывают по сравнению с фермами Поаре при щитах Буле, требуя устройства мостика для подъема щитов и значительного времени на разборку.

В случае, когда щиты могут подвергаться ударам плавающего леса, подъем щитов надо производить при помощи плавучего крана.

В отношении водонепроницаемости, затвор Шаноана уступает щитам Буле. Предельный пролет неограничен.

В отношении работы на реках с обилием наносов, щиты Шаноана не лучше ферм Поаре, ибо коробки засоряются, в особенности при крупных наносах.

Затворы системы Бертреп отлично приспособлены для пропуска быстро наступающих паводков, льда или плавающего леса на реках, не влекущих крупных донных наносов.

На реках, влекущих большое количество ила или песка, они все же применимы для отверстий шириной до 50,00 м при величине подпора до 5,00 м.

Стоимость плотины при этом получается высокая из-за потребной ширины бетонной части флютбета.

Из прочих плотин, работающих при действии подпора воды, наибольшей прочностью отличается плотина Читтендена и ее видоизменения (секторные плотины).

Однако их строительная стоимость весьма значительна в виду большой высоты барабана, большой ширины флютбета и значительной глубины заложения последнего.

Для постройки из дерева они мало подходят.

Манипулирование затворами очень просто, как и в случае плотин Бертреп.

Устройство служебного мостика при одном пролете необязательно.

Если имеется несколько пролетов, то необходимо иметь доступ на все быки и оба устоя.

Затвор Дефонтена, применимый при небольших подпорах, наряду с указанными в § 1 раздела IV достоинствами, еще больше имеет недостатков и самые достоинства покупаются слишком дорогой ценой, в силу чего дальнейшее применение затвора остановилось.

Мостовые плотины со съемными стойками, вверху закрепленными, являются удачным разрешением вопроса, если судоходная река несет много крупных насосов и если представляется необходимым одновременно удовлетворить требование устройства моста для езды чрез реку.

Стоимость мостовых плотин весьма значительна.

Вальцовые плотины являются удачными для малых и больших подпоров и для отверстий: начиная от средних и кончая 60 метр.

Наиболее значительные цельные затворы, построенные до сих пор, возводились либо по типу секторных, либо вальцовых плотин.

Строительная стоимость вальцовых плотин довольно значительна по сравнению с другими типами, но преимущества также весьма значительны.

Ни один тип плотин не завоевал так быстро права на распространение, как вальцовые плотины, особенно охотно применяемые в странах с холодными зимами, даже при больших подпорах.

Наносы быстро удаляются путем приподнимания цилиндра над порогом, ибо на пороге образуется сильное течение.

При крупных донных наносах в реках с быстрым течением полезно обшивать железный остов вальца деревом во избежание быстрого изнашивания железа.

Вальцовые плотины, как и щитовые, устраиваются в несколько ярусов.

При двухъярусном затворе нижний ярус поднимается главным образом для пропуска донных наносов; для пропуска льда и карчей достаточно поднять или опустить только верхний ярус.

Особенно пригодны вальцовые плотины при гидростанциях, допуская точное регулирование расходов как летом, так и зимой.

Сегментные плотины в силу малого сопротивления их при маневрировании (равнодействующая давления воды проходит через ось вращения) выгодно отличаются от прочих типов разборчатых плотин.

В Америке этот тип плотин применяется при больших подпорах в качестве разборчатых водосливов в плотинах, сооружаемых с целью использования водной энергии.

Сегментные затворы широко применяются в водопроводных галлереях шлюзов, а также для закрытия отверстий вододержательных плотин (каменных и железо-бетонных).

Быстрота и простота маневров — второе достоинство затвора.

Кроме того, надо указать на плотность затвора, возможность работы затвора как водослива, а также применения для больших подпоров, удобство ремонта, малая чувствительность к ударам от плавающих тел.

К числу главных недостатков надо отнести отсутствие свободного габарита при открытой плотине и невозможность перекрывать большие пролеты (свыше 15—20 метров.).

При выборе типа плотины строительная стоимость сооружения играет большую роль, почему ниже приводятся краткие данные о стоимости выполненных сооружений.

Подробности можно найти в книге инж. Колпычева — Влияние условий службы разборчатой плотины и т. д. Необходимо добавить, что эти подробные сведения не дают истинного соотношения цен в каждом данном случае, вследствие чего необходимо определять это соотношение при составлении проекта.

Т и п ы п л о т и н .	1 кв. метр только раз- борчатой части.	1 пог. метр отверстия (затвор с флютбетом).	1 кв. метр отверстия (затвор с флютбетом).
	Р у б л и .		
Сплицевые (22 плотины)	57	813,5	328,5
Щитовые; щиты с роликами (4 плотины) . .	319	1784	797
Щитовая; щит дерев. скользящий (1 плотина) в пазах	116,5	780,5	313,5

2. Расположение сооружений в плане.

При расположении плотины в плане стремятся к возможно меньшему стеснению русла реки, чтобы обеспечить в высокие воды судоходство при скоростях не свыше 1,80 м в секунду, с одной стороны, если река судоходна, а с другой стороны — для облегчения условий пропуска воды, что создает меньший подпор и вызывает меньшее затопление берегов.

Однако указанные соображения нередко уступают место экономии. Решением является сооружение, по возможности лишенное сколько-нибудь значительных сопрягающих дамб, помещенных в реке, и расположенное в не слишком узкой части реки, но и не в чрезмерно расширенной.

Иногда и узкий участок реки является подходящим, если берега прочны и условия пропуска воды не слишком тяжелы.

Увлечение экономией и стремление свести к возможному минимуму отверстие плотины за счет увеличения сопрягающих дамб дает очень плохие результаты, ибо вызывает необходимость постоянных затрат на ремонт, иногда очень значительный, а также преждевременный размыв рисбермы, так как расход воды на погонную единицу длины флютбета возрастает (грунты-мягкие).

В простейшем случае имеем плотину без промежуточных быков, снабженную лишь по концам устоями, сопрягающимися с берегами.

Береговой устой обделывается с тыльной части, как устой мостов, т.-е. штанами для лучшего сопряжения кладки с засыпкой.

Сопрягающая дамба снабжается внутри глиняным ядром, уложенным над шпунтовым рядом, забитым, примерно, на величину подпора плотины.

Откосы дамбы укрепляются двойной мостовой или плетневыми клетками с загрузкой камнем.

Последнее укрепление более надежно.

Верх дамбы также укрепляется мостовой и имеет уклон от берега к устою.

Укрепление того же типа распространяют у подходов к плотине и у выходов, т.-е. берег выше и ниже дамбы укрепляется по тому же типу.

Протяжение этих последних укреплений зависит от устойчивости берегов и условий пропуска льда, а также от степени стеснения плотиной русла реки (при мягких грунтах надо избегать стеснения реки свыше, чем на 20—25%).

Черт. № 341 изображает план расположения сооружений при устройстве шлюза и плотины на судоходной реке.

Черт. № 342 изображает расположение шлюза в канале при плотине на судоходной реке.

Такое расположение предпочтительно в эксплуатационном отношении, но в предыдущем случае оно неприменено в виду того, что пришлось бы устраивать плотину большей длины, чем это требуется по условиям пропуска воды, в силу чего решено было поместить шлюз в реке в целях экономии.

Устой без ниши (береговой) носит название тонкого устоя; устой с нишей, куда падают крайние фермы, называется толстым устоем.

Толстый устой сопрягается с головой шлюза.

При таком расположении сарай для щитов помещается на одном берегу с тонким устоем, что дает возможность поднимать и убирать фермы Поаре, минуя шлюз.

Черт. № 343 изображает участок реки Марвы с плотиной, разделенной промежуточным быком на 2 пролета: судоходный—12,00 м и водосливный—63,00 м.

Водосливный участок перекрыт затвором Дефонтема.

Черт. № 344 изображает план расположения сооружений при устройстве плотины в целях утилизации водной силы. В виду наличия порога в конце осадочного бассейна, донные крупные наносы не попадают в канал.

Они могут быть удалены из бассейна чрез промывной шлюз. В канале имеется преграждение S, позволяющее закрыть воде доступ в канал.

Вода проходит донный спуск с большой скоростью по дну, в виду чего дно у спуска укреплено на большую длину выше и ниже отверстия.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Плотоходы.

§ 1. Общие соображения о пропуске сплавляемого леса через плотину.

При устройстве плотины через реку нередко приходится принимать меры к обеспечению возможности беспрепятственного прохода через плотину леса и дров.

При этом лес или сплавляется россыпью, если нет взводного судоходства, или идет в плотах, или, наконец, отправляется в судах.

Продолжительными и весьма обстоятельными австрийскими опытами на Эльбе, Молдаве и Дунае установлено, что самый рациональный способ перевозки лесных материалов, *не стесняющий судоходства*,—это буксирная тяга плотов ¹⁾.

Перевозка леса в баржах могла бы конкурировать лишь при наличии обратных грузов.

В том и другом случаях во время высоких вод, при разобранной судоходной плотине, все перевозки происходят как в свободной реке.

Если сплав не прекращается по закрытии отверстий плотин, то лесные материалы в судах и плотах могут проходить чрез шлюзы, *если основные грузы не полностью используют пропускную способность шлюзов*.

При этом плоты устраиваются с осадкой, допускаемой лишь при сплаве в высокую воду, когда не опасаются падения горизонта воды: до 4—5 рядов.

В противном случае, а также при глухих плотинах, необходимо устройство специальных отверстий в плотине или рядом с ней—«плотоходов» для пропуска леса в плотах. При этом дрова и пиленный материал пойдут в судах чрез шлюзы.

При сплаве леса на несудоходных реках лес сплавляется россыпью или в плотах, при чем в плотинах устраиваются специальные отверстия для пропуска леса. Иногда плотина в этих целях снабжается полноразборчатым отверстием или, при сплаве россыпью, устраивается лесоспуск упрощенного типа.

§ 2. Лесоспуски.

Лесоспуск, устраиваемый при сплаве россыпью, состоит из двух частей: сплавонаправляющих сооружений и лотка.

Сплавонаправляющими сооружениями служат запони (боны), лавы или стены сквозной конструкции, расстояние между коими суживается при подходе к лотку (черт. № 345).

Если лес выходит из лотка под углом к течению реки, то необходимо иметь аналогичные выходные сплавонаправляющие сооружения. За границей обычно устраивают постоянные сплавонаправляющие сооружения, в России—лишь на время сплава и то не всегда.

Лоток устраивается деревянный, самой простой конструкции, укрепленный на сваях, при длине лотка, равной двойной длине бревен и небольшом уклоне дна лотка по течению.

¹⁾ В шлюзованных реках по проходе высоких вод. При высоких водах сплав может оказаться немного дешевле буксирной тяги.

Черт. № 346 изображает шведский бревноспуск простейшего устройства. Иногда лоток устраивается в теле ряжевой плотины (черт. № 347). В некоторых случаях целесообразно устройство лесоспуска в виде канала в обход плотины с выходом в желательное место реки. Пример — канал для спуска бревен в р. Цну из Завадского водохранилища (в $2\frac{1}{2}$ км выше г. Волочка).

Длина Цнинского канала-лесоспуска равна 328 м (154 саж.) при глубине 1,6 м (0,75 саж.), ширине понизу 6,40 м (3,00 саж.) и полукторных откосах.

На протяжении первых 42,5 м (20-ти саж.) канал огражден стенками из брусчатого шпунта. Далее, на протяжении следующих 110 м (50 саж.) фашинная и каменная одежда, затем начинается двойной деревянный желоб-лоток, укрепленный на дне.

Наконец, лесоспуск может иметь вид конструкции, называемой плотоходом, но облегченного типа, т. е. водоспуска с повышенным порогом и деревянным скользящим щитом или даже сегментным затвором. При этом сплавонаправляющими сооружениями служат крылья лесоспуска (черт. 348—349).

§ 3. Плотоходы.

Плотоходами называются специальные отверстия при плотине, имеющие назначение пропускать лес, сплавляемый в плотах.

Плотоход имеет вид канала с укрепленным дном и стенами, с уклоном дна в сторону нижнего бьефа.

Уклон меняется в практике в широких пределах: от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{100}$ (см. черт. № 350).

Уклон в $\frac{1}{10}$ ближе отвечает сплаву россыпью, уклон в $\frac{1}{100}$ — сплаву плотов в современных условиях заграничей. Плотоход закрывается щитом. В последнее время затвором для закрытия плотоходных отверстий служит почти исключительно сегментный затвор, признанный всеми, как наиболее целесообразная конструкция в данном случае.

Затвор подвергся дальнейшим усовершенствованиям и в настоящее время одной из удачнейших конструкций является затвор системы Прашиля (черт. № 351), примененный в плотоходах на р. Молдаве.

На обоих концах затвора Прашиля устроены массивные секторы, оси которых опираются на цапфах. Эти оси проходят внутри устоя, где в особой камере устроены противовесы. При открытии плотохода весь затвор при помощи цепей входит в нишу, открывая все отверстие. Ниша сверху перекрывается листом, прикрепленным к консоли ниши. Сектору можно давать небольшой эксцентриситет и таким образом при вращении сегмент может быть прижат к порогу. Затвор Прашиля на Молдавских плотоходах открывается в $\frac{1}{2}$ минуты, закрывается также в $\frac{1}{2}$ минуты при пролете, перекрываемом затвором, в 12 м. Для пропуска плота затвор открывают, и как только плот войдет в канал и задняя часть плота минует голову, затвор закрывают. Благодаря этому скорость течения воды в канале быстро уменьшается и плот выходит из канала с незначительной скоростью. Затвор открывается и закрывается с применением электричества или вручную. Черт. № 351 изображает плотоход на реке Молдаве. Длина плотохода 100 м при уклоне дна в $\frac{1}{100}$. Верхняя часть канала, на протяжении 30 м имеет бетонный флютбет с каменным полом. Остальная часть — дно досчатое, на сваях.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Рыбоходы.

§ 1. Общие соображения. Две группы рыб. Необходимость устройства рыбоходов для обоих групп.

Современные условия проектирования водоподъемных плотин в большинстве случаев не позволяют пренебречь интересами рыбоводства.

Обычное в русской практике стремление обойти вопрос об устройстве при плотинах рыбоходов подкреплялось нередко тем соображением, что рыба будто бы чаще всего не может попасть в рыбоход, который в силу этого оказывается выстроенным понапрасну.

Нельзя отрицать фактов неудачного расположения в плотине рыбоходов, но необходимо помнить, что при удачном расположении их, как показал опыт, рыба интенсивно пользуется приспособлениями для перехода рыб из одного бьефа в другой.

Трудность удачного решения вопроса в каждом отдельном случае зависит от незнакомства строителей с привычками рыб и от недостаточно тщательного изучения гидрологических особенностей данного участка реки.

Там, где справлялись с этими трудностями, рыбоходы прекрасно выполняли свое назначение уже чрез несколько часов по их устройстве.

В зависимости от времени года, изменений горизонта воды и других причин рыба передвигается вверх или вниз по течению.

Однако, для одной группы рыб характерны передвижения на короткие и дальние расстояния, с возвращением на свои родные места, а для другой — передвижения на очень большие расстояния от истоков рек в моря и наоборот.

Рыб первой группы назовем «оседлыми», а второй — «проходными».

К таким путешествиям рыб побуждают, главным образом, две причины: искание пищи и инстинкт размножения.

К числу «проходных» рыб относятся: лосось, осетр, речная минога, угорь, морская форель, сельдь и др. рыбы.

Полуоседлые и оседлые рыбы хотя и перемещаются на большие расстояния¹⁾, однако всегда возвращаются к своему исходному месту.

Эти путешествия вызываются главным образом исканием пищи, а размножение играет лишь второстепенную роль.

Изложенное указывает на необходимость устройства рыбоходов также и для «оседлых» рыб, если путь прегражден плотиной. Число рыб первой группы очень велико, при весьма высоком качестве некоторых из них.

В настоящее время всеми признается польза устройства рыбоходов и для оседлых рыб. Так, например, на р. Майне уже в конце марта идут пеструшки, затем плотва, пескари, лещи, окуни, головли, щуки, белорыбица, макрели, ерши и другие оседлые и проходные рыбы.

Эти путешествия носят особенно оживленный характер с мая по сентябрь.

¹⁾ Это относится, собственно, к полуоседлым рыбам, к коим причисляют: налима, карпа, язя, стерлядь, головля, подуста и др.

Оседлые рыбы: окунь, ерш, палья, хариус, щука и др. В дальнейшем будем подразумевать под оседлыми рыбами как оседлых, так и полуоседлых.

§ 2. Расположение рыбоходов в плане.

При устройстве рыбохода надо решить две задачи: привести рыбу к рыбоходу и пропустить ее чрез рыбоход.

Первая задача важнее второй, ибо от удачного разрешения ее зависит успех выполнения второй.

Кроме того, первая задача много трудней, так как она требует хорошего знания привычек рыб и гидрологических особенностей участка реки.

Если приходится устраивать рыбоход в существующей плотине, то легче добиться удачных результатов, нежели в случае устройства рыбохода одновременно с новой плотиной, так как в этом последнем случае надо представить себе будущее действие плотины на течение, надо исследовать, какие изменения русла, перекаатов и берегов вызовет плотина, и как могут повлиять эти изменения на путь движения рыб.

При устройстве рыбохода в существующей плотине имеется возможность добиться удачных результатов, произведя тщательные изыскания, не пренебрегая при этом подробным опросом рыбаков относительно перемещения рыб на данном участке у плотины.

Особенное значение имеет расположение низового выхода. Обычно его устраивают в водобойной части плотины.

Однако, такое расположение может оказаться неудачным при значительном перепаде воды в плотине и сильном шуме при слабой струе воды, идущей чрез рыбоход.

В этом случае рыба вовсе не замечает слабого течения, ибо идет на шум, на сильнейшее течение.

Если рыбе не удастся проникнуть чрез заграждение, то после нескольких попыток она считает свои усилия тщетными и отдыхает где-нибудь в тихой воде недалеко от заграждения.

Отдохнув, рыба снова старается взять препятствие.

После новой неудачи рыба ищет другое место для прохода, отыскивая все же сильное течение. Следовательно, задача инженера состоит в умении так расположить низовой вход рыбохода, чтобы рыба при своих попытках перебраться чрез плотину заметила бы рыбоход. Эта задача осложняется тем, что из хозяйственных соображений чрез рыбоход обычно пропускают небольшое количество воды, в силу чего струя воды, вытекающей из рыбохода уступает по силе струе падающей воды чрез отверстия плотины.

Необходимо помнить, что как бы хорошо мы ни расположили выход рыбохода, рыба всегда предпочтет искать прохода прямо чрез плотину, на сильном течении: этот путь является излюбленным для рыбы, но непреходимым.

Если бы удалось весь расход воды чрез плотину пропустить чрез рыбоход, то рыба, идущая вверх, сразу предпочла бы этот путь.

Но такое устройство рыбохода не всегда возможно.

Низовой выход рыбохода рыба находит обычно плывя уже сверху вниз, временно отступая пред препятствием, намереваясь возобновить попытку, после отдыха ниже плотины.

Следовательно, ошибочно прикрывать низовой выход рыбохода каким-либо сооружением вроде стены или шпунтового ряда или прятать его у самого берега, где рыба с трудом может найти вход.

Ошибочно также располагать низовой выход слишком далеко вниз по течению: пределом является то расстояние, на которое отступает рыба, уставшая от безрезультатных попыток перейти чрез плотину на сильном течении.

Однако известное удаление выхода от сильного течения необходимо, так как иначе рыбе было бы трудно заметить струю воды, вытекающую из рыбохода.

В практике это расстояние колеблется от 2-х до 12 метров, при чем 2 метра были бы достаточны при очень маленьких падениях и незначительных расходах чрез плотину, а 12 метров—при больших расходах и значительных падениях.

В отдельных случаях допустимо дальнейшее увеличение расстояния.

При косом расположении плотины лучшим местом для рыбохода является место плотины, наивысшее по течению.

Однако, это правило нельзя применять всегда и всюду без изменений: в реке могут встретиться особые препятствия, неправильности в образовании течений, дна, островов и перекатов, которые могут повести к разделению течения, в силу чего рыба может не достигнуть наиболее высокого места плотины.

Поэтому необходимо исследовать образование течений ко времени прохода рыб.

Разберем два примера неудачного расположения низовых выходов рыбоходов.

Пример 1-й.

Чертеж № 352 изображает рыбоход, не достигший своей цели.

Он представляет собой лестницу, расположенную дугой и снабженную перегородками и вырезами. Лестница устроена в обход спицевой плотины. Против типа рыбохода ничего нельзя возразить: он мог бы пропускать из одного бьефа в другой и лососей, если бы они попали в рыбоход.

Но это последнее было невозможно.

Дело в том, что выход рыбохода прикрыт шпунтовым рядом длиной 3,00 м, расположенным выше выхода.

Шпунтовый ряд обложен с верховой стороны камнем.

Очевидно имелось в виду защитить рыбоход от плавающих предметов. Кроме того, тем же самым предполагалось достигнуть стеснения струи воды, вытекающей из рыбохода, чем могло быть привлечено внимание рыбы.

Но здесь допущена грубая ошибка.

Лососи, идущие вверх по течению, ищут самую сильную струю.

Поэтому они уйдут по середине реки, минуя рыбоход.

Если бы какая-нибудь рыба, плывущая вдоль берега вверх по течению, достигла бы струи рыбохода, то все-таки она ее не заметила бы и последовала бы за сильным течением, идущим от плотины.

Таким образом вся рыба шла к плотине и при неудачных попытках перехода, уставая, отходила вниз по течению, но на меньшее расстояние, чем расположен выход рыбохода.

Кроме того, шпунтовая стенка скрывала рыбоход от внимания рыбы.

Целесообразное расположение выхода показано пунктиром.

Пример 2-й.

Чертеж № 353 изображает рыбоход одной из мельничных плотин, представляющий собой рыбоходную лестницу с перегородками и проходными отверстиями, и сам по себе не вызывает возражений.

Низовой выход обозначен на чертеже через «у».

Рыбоход не был использован рыбами.

Исследования показали, что рыбоход должен быть расположен действительно у левого берега.

Несомненно, что все рыбы достигали пункта а.

Далее они могли выбрать путь к мельнице б, ибо мельница постоянно работала.

Однако, переход рыбы из бьефа в бьеф у пункта б был невозможен из-за большого падения.

Отсюда рыба отступала и переходила к плотоходу, где также не могла подняться в виду сильного течения при незначительной глубине: плотоход покрыт тонким слоем воды.

Выход «у» лосося могли бы заметить лишь при движении от «б» к «с». Но на этом пути течение было слишком сильным против слабого течения в «у», и рыба проходила мимо рыбохода.

Перенесение выхода в «х» и изменение перегородок, как показано на чертеже № 353, устранило дефект.

Течение в х, как более сильное, чем в б, привлекало лососей, идущих от б к с. Влияние сильных течений от плотового хода при таком расположении входа устранилось. Рыбоход стал исправно работать.

Кроме правильного расположения в плане выхода рыбохода, необходимо обратить серьезное внимание на расположение выхода по глубине.

Рыбоход должен быть так устроен, чтобы рыба могла в него выплыть.

Никогда нельзя заставлять рыбу прыгать из свободной воды в рыбоход.

Если рыба уже попала в рыбоход, то она менее задумывается, и от нее можно ожидать прыжка в следующую камеру.

Но этого никогда не случается при переходе рыбы из свободной воды.

Нижний выход должен лежать так глубоко, чтобы при самом низком горизонте воды во время хода рыбы, вода из рыбохода выливалась бы в реку достаточно большим поперечным сечением.

При постоянных горизонтах легко добиться получения при выходе струи воды, весьма заметной для рыбы и достаточной глубины.

Но в случае повышения горизонта воды нижнего бьефа выходная струя получает меньшую скорость при одном и том же расходе и большем поперечном сечении.

Следовательно, нужно усилить питание водой рыбохода.

§ 3. Конструкция рыбоходов для проходных рыб.

а) Рыбоходная лестница.

Наиболее часто встречающийся тип рыбохода — это рыбоходная лестница, представляющая собою ряд бассейнов, лестницеобразно следующих друг за другом и разбивающих весь подпор на несколько перепадов, легко преодолимых рыбой. При этом различают рыбоходы с перегородками и рыбоходы с порогами.

Перегородки располагаются поочередно с одной и другой стороны открытого желоба и не доходят до противоположных стен желоба.

Они отделяют бассейны друг от друга и заставляют воду следовать в обход их.

Если перегородки идут во всю ширину желоба, то они называются порогами. В этом последнем случае вода переливается в следующий бассейн через верх порога.

Рыбоходы с порогами различаются двух родов.

Во-первых, устраивается в пороге вырез полукруглой или прямоугольной формы для облегчения перехода рыбы, во-вторых отверстие в пороге залегает ниже горизонта нижней воды каждого порога и имеет прямоугольную форму. Описанное отверстие называется «вплынным» отверстием.

Черт. № 354 изображает поперечное сечение рыбохода с перегородками, черт. № 355 — сечение рыбохода с порогом и вырезным отверстием.

Усовершенствование конструкции рыбоходов с перегородками привело к применению своеобразного расположения перегородок.

Чертежи №№ 356 — 360 изображают примеры устройства перегородок.

Косое расположение перегородок увеличивает путь движения воды и замедляет скорость ее, т.-е. улучшает действие рыбохода.

Однако, при этом возникают водороты и в острых углах отлагаются наносы.

Более удачное устройство изображено на чертеже № 359.

В данном случае рыба при движении между стеной рыбохода и перегородкой не прижимается боковой струей к стенке рыбохода.

Чертеж № 360 изображает рыбоход длиной 132 метра при подпоре 10,00 м.

Применение перегородок позволило увеличить длину пути воды на 270 м, так что в конце-концов получилась скорость около 0,8 метр./сек.

В Германии имеется много примеров удачно работающих рыбоходов.

Одним из лучших рыбоходов является рыбоход, выстроенный Мейером в 1878 г. в Эмской плотине.

Стоимость рыбохода равна около 20.000 марок.

Значительно более дешевое устройство, не менее хорошо работающее, показано на чертежах №№ 361—362.

Здесь рыбоход представляет собой деревянную лестницу, вход и выход которой помещаются почти один над другим, при чем лестница образовала петлю.

Бассейны имеют ширину 1,72 м при длине в 2,15 м и 0,25 м падения. Глубина их равна 0,70 м.

Впływные отверстия имеют сечение 0,20 м \times 0,35 м (ширина на глубину).

Рыбоход хорошо обслуживал лососей, угрей, а также оседлых рыб.

Черт. №№ 363—365 изображают рыбоход с порогами и верхними вырезами шириной 0,60 м.

Рыба всех пород наплаву преодолевает эти вырезы, редко прибегая к прыжку.

Отсюда вывод: рыба предпочитает перемещаться без прыжков.

Следовательно пороги с впływными отверстиями надо предпочитать порогам с вырезами, ибо впływные отверстия гарантируют проход рыбы без прыжков.

При впływных отверстиях глубина в бассейнах может быть меньше, ибо не требуется запаса глубины для прыжка, когда рыба опирается хвостом о воду, ни в коем случае не касаясь при этом дна.

Впływные отверстия должны лежать у основания бассейнов, чтобы последние могли самостоятельно очищаться от песка и ила.

Для удержания больших плавающих предметов должна устраиваться решетка у верхнего входа в рыбоход.

Первый рыбоход с впływными отверстиями был устроен в Англии в 1864 году (близ Дарлингтона).

В Германии первый рыбоход того же типа был выстроен Мейером в 1882 году в Эмской плотине.

Пороги образованы дубовыми досками, заложёнными в железные пазы.

Расстояние между порогами равно 2,50 м, уклон рыбохода равен 1:9.

Самый значительный из немецких рыбоходов рассматриваемого типа это рыбоход в плотине на р. Везере у Гаммельна (черт. №№ 366—369).

Здесь течение реки разделяется на 3 части: к верхней плотине, к нижней плотине и к судоходному шлюзу по каналу.

На верховом конце верхней плотины находится старый рыбоход, которым рыбы не стали пользоваться.

В 1887 г. был выстроен новый рыбоход в середине верхней плотины в косом направлении по отношению к оси плотины.

Рыбоход сделан из бетона с облицовкой песчаником и состоит из 8 бассейнов шириной в 2,40 м, длиной 2,50 м и глубиной 0,75 м.

Высота ступени равна 0,33 м.

Основание самого верхнего бассейна находится на высоте 1,50 м над дном реки, вследствие чего не происходит засорения рыбохода донными наносами.

Пороги бетонные, края вливных отверстий закруглены для уменьшения сжатия струи и в целях предохранения рыб от поранения.

Вливные отверстия имеют сечение 35,50 см × 35,50 см.

Рыбоход обошелся в 21130 марок.

Через несколько часов после постройки рыбохода лососи стали пользоваться им.

Для проектирования рыбоходной лестницы для лосося может служить следующая таблица (рыбоход с порогами и вливными отверстиями):

№№ по пор.	Д А Н Н Ы Е.	Предельные размеры.	Обычные размеры.	Особо благоприятные размеры.
1	Уклон	1:6,5 и меньше.	1:9	1:13
2	Длина бассейнов в свету	2,10 м	2,50 м	3,50 м
3	Ширина	1,80 „	2,00 „	2,50 „
4	Глубина бассейнов	0,50 „	0,60 „	0,70 „
5	Высота ступеней	0,38 м и меньше.	0,30 „	0,25 „
6	Высота ступени к нижнему бьефу	0,15 м	0,12 „	0,10 „
7	Размер вливных отверстий с перепадом воды	25,30 см	30,36 см	40,40 см
8	То же без перепада воды	40,40 „	40,45 „	45,45 „
9	Размер самого нижнего вливного отверстия без перепада воды	50,50 „	50,55 „	50,60 „
10	Высота стен рыбохода над поверхностью воды в бассейнах	0,12 м	0,15 м	0,20 м
11	Ширина затворов в свету, в верхнем входе	0,38 „	0,45 „	0,50 „
12	Число затворов	2	2	3

Глубина в бассейнах рыбоходов, где рыба перемещается без прыжков, может быть взята меньше, чем там, где рыба вынуждена прыгать.

Высота ступеней также может быть изменена с 25 см до 30 см, если рыбы проплывают рыбоход без прыжков.

Не следует устраивать высоту ступеней больше 0,30 м, допуская для коротких рыбоходов 0,38 м при незначительном подпоре плотины.

В противном случае рыба быстро утомляется.

При определении размеров вливных отверстий рыбоходов для лососей необходимо различать, вся ли питающая рыбоход вода должна проводиться через вливные отверстия или, кроме того, допускается переливание воды чрез порог.

Последнее имеет преимущество: шум привлекает рыбу; кроме того, когда не идут лососи, стеснением воды в верховом выходе при помощи затворов можно увеличить перепад воды и приспособить рыбоход к передвижению постоянных рыб.

Необходимо устраивать вливные отверстия в верхнем конце рыбохода больше, чем в нижнем, для выравнивания прироста скорости течения воды по пути к нижнему бьефу.

При равных размерах вливных отверстий, глубина в бассейнах может сильно упасть.

Поэтому приросту скорости воды противопоставляют уменьшение размеров вливных отверстий сверху вниз.

В среднем можно принять, чтобы каждое следующее вливное отверстие было бы на один сантиметр по ширине или высоте меньше предыдущего.

Проходя вливные отверстия, рыба преодолевает самую сильную струю воды в рыбоходе.

Поэтому, чтобы не утомлять рыбы без нужды, пороги делают возможно тоньше.

Лучше всего их делать из бетонных плит или досок.

Рядом с вливными отверстиями надо всегда располагать тонкие защищающие доски (черт. №№ 370 — 372).

Вода в бассейнах образует круговороты.

Если нет защищающей доски, то рыба, проплывая чрез отверстие, получает сильный удар сбоку.

Этот удар пугает рыбу и отбрасывает к противоположному острому краю отверстия, чем может повредить ей.

Короткие защитные дощечки предохраняют рыбу от ударов.

Чтобы укоротить узкое место со стесненной струей, дощечки лучше располагать в косом направлении.

Защитные доски устраиваются длиной 0,60 м — 0,70 м и высотой не превышают высоты отверстий.

Необходимо обратить особое внимание на устройство последнего (самого нижнего) порога рыбохода.

Рыба должна легко входить в рыбоход снизу без прыжков при любом горизонте.

Широкая струя умеренной силы здесь уместней узкой струи большой силы.

Поэтому в приведенной таблице и даются особые размеры нижнего вливного отверстия.

Не следует устраивать слишком высокие боковые стены рыбоходов, чтобы не затемнять пути движения рыбы, что может препятствовать работе рыбохода.

Не надо покрывать рыбоходы для лосося: наоборот, необходимо открыть доступ света и воздуха.

Особенно это ценно в нижней части рыбохода.

Извилины в рыбоходах надо избегать.

Если устраивается неизбежная излучина, то возникающее неудобство должно быть компенсировано устройством места для отдыха рыбы после прохода излучин.

Нельзя допускать применения острых углов и краев на пути рыбы. Все края и углы должны быть хорошо закруглены.

Все остальные части рыбохода, которые не могут быть задеты рыбами, должны быть возможно грубо-шероховаты для уменьшения скорости течения воды.

Черт. № 393 изображает рыбоход в железобетонной плотине.

б) Рыбоходы Камере и Дениля.

Американец Макдональд, француз Камере и бельгиец Дениль искали практические решения вопроса об уменьшении скорости течения воды в рыбоходах с крутым уклоном.

Всех троих интересовала возможность выпускать для этого в рыбоход под напором воду, создающую обратное течение.

Попытки Макдональда, вызвавшие в свое время шум благодаря рекламе, дали слабые результаты.

Французский инженер Камере с успехом выполнил идею рыбохода по принципу, указанному выше.

Черт. №№ 373—376 изображают конструкцию рыбохода Камере, устроенного в спицевой плотине на р. Сене. Между фермами спицевой плотины подвешен желоб из листового и углового железа, боковые стенки которого обшиты деревом.

Желоб имеет длину 10,30 м, ширину 0,90 м в свету и уклон 1:4 при максимальном подпоре 2,83 м.

Желоб подвешен цепями к двум фермам, которые дают возможность поднимать его или опускать, и представляет собой прямой путь для рыбы, без всяких перегородок.

Сверху рыбоход открыт и перекрыт по длине лишь поперечинами, скрепляющими боковые стены.

Чтобы уменьшить скорость протекающей воды, в дне желоба, сделанном из листового железа, проделано 18 отверстий.

Эти отверстия имеют вид полосок шириной 2 см и тянутся по всей ширине желоба.

Отверстия имеют одинаковые размеры, но расстояние между ними увеличивается сверху вниз по мере увеличения напора воды, протекающей в отверстия.

С нижней стороны отверстия снабжены уголком, полки которого образуют между собой угол в 45° .

Таким образом вода поступает в рыбоход не только сверху, но и снизу чрез все 18 отверстий.

Эти отверстия, взятые вместе, дают $0,324 \text{ м}^2$ поперечного сечения.

Для возможности регулирования расхода воды в рыбоходе щели могут закрываться пластинками из листового железа толщ. 4 мм и шириной 7 см, снабженными зажимами, допускающими передвижку пластинок над отверстиями.

Вода, поступающая в рыбоход чрез щели, замедляет сток воды в желобе, ибо направление входа втекающей воды — встречное.

Скорость движения воды в рыбоходе достигает при этом $\approx 2,50$ м/сек. при глубине воды $\approx 0,35$ м.

Глубина в 0,35 м для плавающей рыбы (без прыжков) достаточна.

Расход воды равен в данном случае $0,63$ м³/сек.

В 1907 году в Бельгии, при впадении Урты в Маас, выстроен рыбоход измененной системы Камере с 24 косыми донными прорезями.

Подпор плотины равен 3,50 м.

Уклон рыбохода 1:4 при ширине 0,90 м.

Строитель рыбохода инж. Дениль обратил внимание на то, что скорость у входа рыбохода равнялась 5,80 м/сек.

Дениль уменьшил эту скорость до 3,15 м/сек. путем устройства особых *деревянных поперечин*.

Исследования над различными уклонами дали интересные результаты: средняя скорость воды в лотке мало меняется до тех пор, пока уклон лотка не превышает угла в 45° .

При более крутых уклонах скорость быстро возрастает.

В силу указанного Дениль рекомендует придавать лотку уклон к горизонту, близкий к $\text{tg } 40^\circ$.

Данные наблюдений Дениль занес в следующую таблицу:

Расход воды в куб. метрах в секунду	0,25	0,44	0,57	0,66
Средняя скорость в метрах в секунду	0,87	2,19	2,48	2,42
Глубина воды в метрах .	0,24	0,35	0,40	0,47

По этим данным Дениль спроектировал рыбоход, изображенный на черт. №№ 377—378, имеющий уклон 2:3.

Такой уклон считаем допустимым лишь для лососей при малых подпорах.

Для оседлых рыб и при значительных падениях лучше не превосходить уклона 1:4.

в) Уг р е х о д ы.

Угри мечут икру в марте, мальки поднимаются в реки и взрослыми рыбами возвращаются в море для метания икры.

Отсюда следует, что для перехода угрей через плотины нужно иметь два приспособления: угреход для взрослых угрей вниз по течению и угреподъем для мальков—угрей.

Взрослые угри пользуются всякой возможностью проскользнуть через плотину: вместе с водой переливающейся через гребень плотины, через щитовое отверстие; даже водяные колеса не представляют препятствий.

Но с применением турбин стало необходимым устраивать рыбоходы, так как турбина рвет рыбу на куски, не давая ей возможности пройти в нижний бьеф.

Самым простым проходом для угрей является отверстие в щитовой плотине в нижнем крае щита, для чего достаточно иметь щель толщиной 10 см и шириной 15 см.

Угорь, плывущий ночью по дну по течению, легко найдет это отверстие, ибо здесь течение сильное и не имеет препятствий.

Заложённая в кладку глазурированная труба также является хорошим угреходом.

Но оба эти приспособления имеют тот дефект, что вызывают постоянный значительный расход воды, не всегда целесообразный, ибо использование его в турбине иногда может дать больше пользы, нежели принесет ее угреход.

Черт. №№ 379—380 изображают рациональную конструкцию угрехода.

Идущий вверх желоб А начинается у два верхнего бьефа, почти достигая горизонта воды.

Далее желоб В идет к нижнему бьефу.

Желоб А снабжен многочисленными маленькими дырочками. Дно желоба и боковые стенки на высоту 0,30 м должны быть деревянные, ибо соприкосновение с хорошими проводниками тепла отпугивает угрей.

Несмотря на оживленный приток воды, рыбоход требует незначительного расхода воды: потерянной водой является вода, прошедшая из желоба А в желоб В через промежуточный гребень, который может быть сужен до 8 см. по ширине, при глубине в 5 см.

Деревянные части желоба должны быть вычернены, так как угорь боится малейших светлых пятен на дереве дна и боковых стенок и не пойдет по угреходу. Доски с внутренней стороны должны быть хорошо выстроганы, чтобы угорь не повредил себе кожу.

Молодые угри (длина 8—13 см и толщина в вязальную спицу) идут от морей большими стаями и держатся возле берегов, так как с трудом борются с течением.

Они редко в первый год достигают верховий рек и чаще зимуют в болотистых участках рек, продолжая путешествие в следующий год.

Чем более угри удаляются от моря, тем длиннее и толще становятся они.

Это необходимо учитывать при устройстве угреподъемов.

Раньше удовлетворялись тем, что клали в желоб фашины, которая при слабом течении всегда содержалась влажной при уклоне желоба 1:5, 1:8.

В 1882 году Штерман пробовал провести угрей через маленький деревянный лоток 12 см ширины и 8 см глубины при уклоне 1:9.

Успех был достигнут путем расширения нижнего выхода, вкладывания в лоток соломы и березовой коры, устройства деревянных перегородок и набивки желоба гравием.

Еще успешнее работали закрытые рыбоходы Штермана: молодые угри совершают свои переходы ночью.

Черт. №№ 381—384 изображают эти лотки, состоящие из двух частей: из вертикального ящика шириной от 12 до 20 см и переброшенного чрез плотину лотка того же поперечного сечения и достигающего нижнего бьефа.

В этой второй части через каждые 0,40 м установлены деревянные перегородки с горизонтальными прорезами, имеющими клинообразную форму во избежание закупорки их.

Ширина их с верховой стороны 5—6 мм и с низовой 8—9 мм.

Подобные прорезы имеются по обоим концам рыбохода.

Между перегородками и верхними крышками угрехода остается свободное пространство в 10 мм, чтобы большие угри могли перебраться: им не пройти через прорези.

Пространство между перегородками заполнено камнями величиной от грецкого ореха до картофеля.

Верхняя часть рыбохода не заполняется ни галькой, ни гравием.

Верхняя часть рыбохода прикрыта съемной крышкой с отверстиями.

Такие лотки хороши для небольших угрей, т.-е. описанные угреподъемы пригодны вблизи морей.

Для более крупных угрей пригодны рыбоходы типа «для оседлых рыб».

Существующие рыбоходы для лососей оказываются также пригодными для крупных угрей, в этом случае нет надобности устраивать особые угреподъемы.

г) Рыбоходные шлюзы.

Наблюдения показали, что при шлюзовании судов рыба часто переходит из нижнего бьефа в верхний.

На основании этих наблюдений Реккен спроектировал камерный шлюз, предназначенный исключительно для пользования рыб, и снабженный устройством, производящим автоматически обмен верховой и низовой воды.

Черт. №№ 385—386 поясняют эту конструкцию.

Камера отделяется от бьефов прямыми стенами.

Через верхнюю стену вода льется в камеру.

Эта стена внизу имеет вливное отверстие, запирающееся щитом.

Щит соединен с поплавком, который следит за изменением горизонтов.

Поплавок опускается—и вливное отверстие закрывается щитом.

Нижняя стена имеет на высоте верхнего бьефа маленькую трубу и на высоте нижнего бьефа—вливное отверстие со щитом.

Щит соединен деревянным цилиндром, открытым сверху и помещенным с внешней стороны камеры.

Из верхней трубы в цилиндр переливается вода.

Как только цилиндр наполняется—щит поднимается силой тяжести цилиндра.

Вода с шумом вытекает через вливное отверстие, что привлекает рыбу, которая выплывает в камеру.

В дне деревянного цилиндра устраивается маленькое отверстие, откуда течет вода, что обеспечивает подход рыбы к шлюзу.

Иногда вода переливается через нижнюю стенку, что привлекает рыбу еще лучше.

Вода течет из вливного отверстия под переменным (падающим) напором, в силу чего разная рыба может подниматься в камеру в разные моменты.

Как только горизонт воды в камере опустится ниже сливной трубы, приток воды в деревянном цилиндре прекращается.

Цилиндр теряет всю воду через нижнее отверстие в нем.

При порожней камере щит совершенно свободен.

Тогда закрывают щит, подвешенный на цепи через блок, и поднимают пустой цилиндр.

По наполнении камеры и цилиндра водой те же операции повторяются снова.

При опорожнении шлюзной камеры поплавков опускается и тянет вниз щит верхней стенки, жестко соединенный с поплавком, что вызывает закрытие отверстия в верхней стене камеры.

Таким образом вода не может попасть в камеру через всплывное отверстие.

Этим устраняется значительная трата воды: сливается только вода, идущая через ребро верхней стенки.

Назначая те или иные размеры этого водослива, ускорим или замедлим действие шлюза, так что при большой камере и больших всплывных отверстиях имеется возможность ограничить расход воды, что является особым преимуществом конструкции.

Когда рыба плывет из нижнего бьефа в камеру, щит в верхней стенке закрыт.

Рыба долгое время остается в камере, пока переливающаяся вода не наполнит камеру.

Тогда поплавок поднимается и открывает щит.

Вода со слабым, но заметным течением устремляется в камеру.

Течение достаточно для того, чтобы заставить рыбу плыть в верхний бьеф.

Впервые шлюз описанной конструкции был выстроен на р. Везере.

Камера имела длину 1,00 м и ширину 0,45 м и наполнялась 15 раз в 1 час.

Всплывные отверстия имели сечение 15 см × 10 см.

Позднее был построен рыбоходный шлюз у Гаммельна (Везер).

Рыбоход действовал и как шлюз, и как рыбоходная лестница.

Наблюдения показали, что лестница предпочитается рыбами.

Позднейшие наблюдения еще резче подчеркнули преимущество рыбоходных лестниц.

Угри совсем неохотно идут в шлюзы.

Повидимому, рыб пугают изменения в течении воды, чего нет в рыбоходных лестницах.

Шлюзы успешнее работают при увеличении времени на шлюзование.

Очевидно, рыба при этом начинает успокаиваться.

Рыбоходные шлюзы — экономная конструкция рыбохода, как в смысле постройки, так и в смысле расхода воды, пригодная для прохода всех рыб, кроме угрей.

§ 4. Особенности конструкции рыбоходов для „оседлых“ рыб.

Устройство рыбоходов для «оседлых» рыб способствует увеличению рыбы в весе и улучшению во вкусе, ибо дает удовлетворение жизненных потребностей как в отношении отыскания пищи, так и в отношении икрометания.

«Оседлые» рыбы с трудом берут препятствие прыжком.

Лучшим рыбоходом в этом случае является рыбоходная лестница с порогами и всплывными отверстиями.

Приведенные выше размеры лестниц для лососей должны быть изменены соответственно размерам рыб.

Достаточно иметь длину бассейнов 0,60 — 1,00 м при ширине 0,60 — 0,80 м и глубине 0,30 — 0,40 м.

Падение ступеней берется 0,10 м.

Вливные отверстия имеют размеры : 0,15 м \times 0,20 м.

Отверстия уменьшаются против предыдущего (сверху вниз) на 0,5 см по ширине или высоте.

Падение самой нижней ступени пред нижним бьефом уменьшается примерно на 5 см.

Вливное отверстие, непосредственно следующее за нижним бьефом, увеличивается на 40% сравнительно с предшествующим.

Уклон рыбохода берется в пределах от 1 : 3 до 1 : 11.

Такие рыбоходы в целях экономии устраиваются обычно из дерева (черт. №№ 387 — 389).

Если в реке встречаются только форели и другие небольшие рыбы (верховые рек), то размеры рыбоходов могут быть еще уменьшены.

Тогда достаточно устраивать узкие деревянные рыбоходы по черт. №№ 390 — 391.

Длина бассейнов устанавливается 0,60 — 0,80 м, ширина 0,40 — 0,60 м, глубина 0,25 — 0,35 м при падении ступеней 0,10 м.

Вливные отверстия берутся размерами 0,10 м \times 0,15.

Падение нижней ступени берется совсем незначительное, с увеличением в высоте (на 50%) вливного отверстия в нижней стене, замыкающей рыбоход.

Черт. № 392 изображает такой рыбоход с перегородками и защитными дощечками.

§ 5. Питание рыбоходов.

Количество питающей воды определяется по величине рыбохода и по величине рыб. Большие рыбоходы для лососей расходуют в секунду 0,25 — 0,33 м³, рыбоходы для оседлых рыб расходуют меньше: 0,12 — 0,20 м³/сек и даже 25 — 30 литров в секунду в случае рыбоходов небольших размеров.

В рыбоходах для форелей расход воды составляет лишь 10 — 20 литров в секунду. Иногда, с целью заманить рыбу, применяют дополнительное питание с проведением воды в обход рыбохода к нижнему его выходу, что улучшает работу устройства для прохода рыб. Регулирование поступающей воды в рыбоход достигается маневрированием щитами, устанавливаемыми в верхнем входе.

При высокой воде рыбоход вовсе закрывают во избежание загрязнения его наносами.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Производство работ.

§ 1. Общие соображения.

При постройке плотины обычно имеем с ней рядом другое сооружение, которое входит часто, как звено, в общий план производства работ по постройке всей группы сооружений.

Так, при плотине может быть головной регулятор оросительного канала, судоходный шлюз или регулятор подводящего канала к гидростанции.

Если в постройке находятся несколько групп сооружений, то, естественно, это отражается на общем плане производства работ. Пример — плюзование реки, когда плюзы и плотины одновременно строятся в нескольких пунктах реки. Далее будем рассматривать одну группу сооружений.

§ 2. Деление на очереди.

Основной вопрос, который надлежит разрешить прежде всего — это разделение плотины на секции по очередям выполнения. Плотина может быть построена в одну очередь, если есть куда отвести реку из русла.

В противном случае приходится производить работу в две или даже три очереди путем ограждения перемычками строящегося участка.

От двухочередного распределения отказываются лишь в случае особых стеснений судоходству при возникающих чрезмерных скоростях в суженной части реки, а также из-за невозможности или затруднительности в данных условиях осуществить конструкцию перемычки на несудоходной реке из-за больших скоростей течения.

Двухочередное распределение работ является, вообще говоря, нормальным.

Приэтом, разделяя всю плотину на секции, необходимо произвести гидравлические подсчеты с целью достигнуть одинаковых условий в отношении судоходства, учитывая приэтом в известной мере размываемость песчаного грунта ложа реки.

Устройство перемычки по контуру $abcd$ вызовет стеснение реки, а следовательно — подпор и увеличение скорости течения в суженной части.

Подпор

$$z = \frac{1}{\varphi^2} \left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} \right) = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2} \right)$$

при

$$\frac{1}{\varphi^2} = k = 1,50.$$

Приведенные формулы дают возможность заранее учесть изменение скоростей и образование подпора z (черт. № 394)¹⁾.

Применяя эти формулы при разбивке плотины на секции, необходимо стремиться достигнуть равного стеснения русла реки в течение всего времени работ по устройству плотины.

В случае распределения работ на три очереди, вообще говоря, рационально вести работу от одного берега к другому, заканчивая работу на другом берегу во избежание ошибок в смещении оси плотины.

§ 3. Перемычка.

Контур перемычки. Кроме изложенного, при назначении контура перемычки необходимо иметь в виду:

1) откосы котлованов не должны подходить к перемычке ближе, чем на 10—12 м (5,00 с);

2) линия перемычки должна идти по возможности по наиболее мелкому месту реки в целях экономии в затратах на перемычку, кои должны быть минимальны;

3) огражденное пространство должно заключать в себе всю площадь работ данной очереди с учетом приэтом места для вспомогательных сооружений.

¹⁾ См. Гидравлика, проф. Б. А. Бахметьев.

Пункт 1-й почти покрывается пунктом 3, хотя пункт 1 сохраняет и свое значение: при увеличении толщины фильтрующего слоя приток в котлован фильтрационных вод уменьшается; пункт 2-й не требует пояснений.

Высота перемычки. Высоту перемычки надо так рассчитать, чтобы получилась возможность работы за перемычками в течение времени, достаточного для окончания работ данной секции плотины.

При этом, естественно, приходится стремиться к возможному удлинению этого периода, если тем самым не вызываются значительные дополнительные затраты.

При наличии гидрометрических данных в каждом частном случае вопрос разрешается несложно.

Устраивая вспомогательный график продолжительности периода работ за перемычками в функции высоты перемычки с одной стороны, а с другой стороны кривую стоимости перемычки в зависимости от высоты ее, в каждом отдельном случае находим решение в зависимости от особых местных условий самого различного свойства. Требуемая срочность работ, невозможность с успехом использовать средний рабочий период за перемычками в виду его кратковременности при данной высоте перемычки, могут заставить пойти на повышение верха перемычки даже при значительной ее стоимости.

Тип перемычки. Тип перемычки устанавливается в зависимости от высоты над грунтом, характера грунта ложа реки, скорости течения воды, допустимости большей или меньшей степени стеснения живого сечения реки.

Немаловажную роль играет также стоимость тех или иных материалов, потребных для приготовления перемычки.

Каждая перемычка должна быть так устроена, чтобы при умеренном выкачивании воды оказалось бы возможным производить работы в огражденном пространстве в открытом котловане.

При различных конструкциях и различных местных условиях степень водонепроницаемости перемычки различна. За полной водонепроницаемостью редко гонятся, ибо легче выкачивать умеренное количество фильтрующей воды, нежели производить крупные затраты на постройку перемычки, почти или вовсе не дающей просачивания.

Каждая перемычка должна быть так спроектирована, чтобы полная стоимость конструкции и поддержания водоотлива была минимальной при данных условиях.

При постройке плотин, а также вообще при ограждении водных пространств для осушения их, в целях производства работ за перемычками, применяют последние различных конструкций: земляные, песчаные, шпунтовые, ряжевые и на козлах.

Шпунтовые перемычки в свою очередь разделяются на несколько групп в зависимости от материала свай (дерево или железо), а также той или иной конструкции.

Земляные перемычки

Выгодно устраивать при высоте над грунтом до 2 м (1,00 саж.) (глубина до 1,2 м = 4 фут) при небольших скоростях течения.

При этом ширина поверху берется от 1 м (0,50 саж.) до 2 м (1,00 саж.) в зависимости от высоты перемычки.

Грунт берется имеющийся под рукой, если это не чистая глина и не торфяной или болотистый грунты, которые не годятся для устройства перемычки.

Лучший грунт—песчано-глинистый.

Примесь в грунте гальки, повышающая удельный вес грунта, крайне желательна, ибо тяжелый грунт обеспечивает большую прочность перемычки.

Откосы перемычки берутся в зависимости от рода грунта, но в среднем можно считать: на воду 1 : 2 и во внутрь 1 : 1 до 1 : 1 $\frac{1}{2}$.

Рассматриваемый тип перемычки успешно применялся на р. Сев. Донце (1911—1914 г.г.) при сопряжениях шпунтовых перемычек с берегом т.-е. при незначительном течении.

В случае значительного течения воды, угрожающего размывом грунта, применяются иногда холщевые мешки, частично (на $\frac{2}{3}$) наполненные смесью глины и песка.

Последнее обстоятельство способствует наиболее плотному прилеганию мешков друг к другу. Ширина поверху берется от 2 м (1,0 саж.) до 1 м (0,5 саж.) в зависимости от высоты перемычки.

Песчаные перемычки.

Песчаные перемычки должны быть выделены в особый тип в виду того, что они работают по другому принципу, имея применение до значительных высот над грунтом: до 4 м (2,00 саж.) и более.

При откачке воды из огражденного пространства, при рассматриваемом типе перемычки, горизонт воды сначала понижается крайне медленно, затем понижение горизонта при той же работе насосов идет все заметнее и заметнее, невзирая на увеличение подпора воды, пока огражденная площадь вовсе не освободится от воды.

Объяснение в следующем.

Фильтрующая сквозь перемычку вода перемещает подвижные частицы грунта, заставляя мелкие частицы располагаться в промежутках между более крупными, вызывая тем самым видимую на глаз усадку отсыпи и необходимость пополнения досыпкой.

При этом песчаное ядро уплотняется, пористость уменьшается, а с ней уменьшается и фильтрация.

Кроме того, наружная вода, фильтруя через насыпь, оставляет в ней все наносы, которые она содержала при течении в свободной реке.

Эти тончайшие частицы цементируют песчинки, еще более уменьшая фильтрацию.

Далее, наружное давление воды, увеличивающееся по мере откачки воды из огражденного пространства, заставляет насыпь настолько уплотниться, что фильтрация становится весьма небольшой по сравнению с начальным моментом откачки.

Описанные явления характерны для песчаной массы, обладающей пористостью, а также подвижностью отдельных частиц, в силу чего песчаные перемычки и рассмотрены отдельно.

Откосы песчаной перемычки варьируют в широких пределах в зависимости от крупности песка, скорости течения воды, режима реки (подвижное или постоянное русло) и способа производства работ по устройству перемычки.

В качестве средних данных можно считать, что на воду откос берется 1 : 2 $\frac{1}{2}$, противоположный откос 1 : 1 $\frac{1}{2}$. Однако, когда перемычка образуется путем создания насыпи рефулированием, откос на воду достигает нередко

до 1:12 и даже 1:15 при внутреннем откосе 1:4; 1:5 (пример — постройка с 1915 г. шлюза и плотины № 1 на р. Дон) ¹⁾.

Это и понятно: грунт поступает в насыпь из рефулера в виде жидкой массы, сильно разбавленной водой. Ширина поверху берется от 6,50 м (3,00 саж.) до 20 м (10,00 саж.) в зависимости от высоты. Такой профиль создает большое стеснение русла и может сильно увеличить скорость течения реки, что в свою очередь способствует размыву насыпи, если русло реки не отличается подвижностью и способностью отвоевывать у берегов другое направление в случае преграждения основного ²⁾.

Песчаная перемычка отличается дешевизной, если под рукой имеется обилие песка, а в особенности при возможности использовать рефулер.

В случае значительных скоростей течения воды в реке, при установившемся русле применяют дополнительные устройства, предохраняющие песчаную отсыпь от размыва.

Прежде всего устраивают линию струеотводных щитов, создающих ниже себя тиховод с небольшими скоростями течения воды.

Линия ABC образуется цепью козел, перекрытых досчатой стенкой (черт. № 395).

Черт. № 396 изображает поперечный профиль устройства по линии ABC (грунт-скала).

Козла расставляются в зависимости от глубины, обычно через 4 — 6,5 м (2,00 — 3,00 саж.). Щитовое звено готовится на берегу и доставляется наплыву к установленным козлам по линии ABC (подробно см. инж. Юргевич. «Перемычки с песчаной загрузкой и подводные взрывные работы»).

Песчаные перемычки с применением козел, перекрытых щитами, ограждающими насыпь от внутреннего пространства, нашли широкое применение на р. Днепре при производстве взрывных работ для расчистки русла (см. черт. №№ 397—399).

В зависимости от скоростей течения воды конструкция перемычки менялась.

При больших скоростях приходилось применять с напорной стороны 2 дополнительных стенки, с заполнением между ними мятой соломой.

Соломенная стенка прекрасно предохраняет насыпь от размыва и дает возможность уменьшить профиль песчаной отсыпи, подвергающейся сильному размыву при скоростях свыше 2 м (6'—7') в секунду.

Соломенная стенка дала прекрасные результаты при скорости течения 2,5 — 2,7 м (8'—9') (см. черт. № 399).

Подробное изложение вопроса о перемычках с песчаной загрузкой см. в книге Л. Юргевича — «Перемычки с песчаной загрузкой и подводные взрывные работы». Последний тип перемычки нашел широкое применение при скалистых грунтах ложа реки (р. Днепр).

Шпунтовые перемычки.

Шпунтовые перемычки устраиваются деревянные или железные. Последние предпочтительней деревянных, начиная с более или менее значительных подпоров, когда становится трудным сделать деревянные шпунтовые ряды достаточно хорошо и прочно.

¹⁾ Ниже горизонта воды откос устанавливается круче: до 1:8, 1:6.

²⁾ Примером такой подвижной рэки является р. Дон.

Род грунта также может оказать влияние на выбор железных шпунтовых рядов, если деревянные не обещают быть удовлетворительными.

Пример—галечно-гравелистый грунт, когда нет возможности забить сваи на необходимую глубину, требуемую условиями прочности, а также нельзя получить шпунт надлежащего качества, чему препятствует сильное трение свай о грунт, вызывающее расхождение свай и, как следствие, сильную фильтрацию.

При постройке шлюзов и плотин на реке Сев. Донце (1911—1914 г.г.) широкое применение получил тип перемычки, состоящий из досчатого 7,6 см (3") шпунтового ряда с обсыпкой грунтом с напорной стороны. Всего было выстроено 10 перемычек данного типа общей длиной шпунтового ряда в $3\frac{1}{2}$ км.

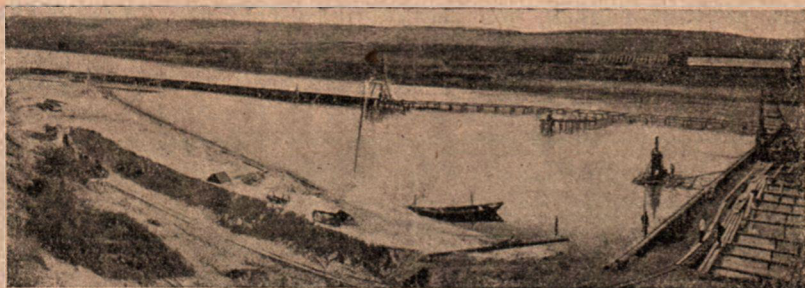


Рис. 1. Устройство перемычки под I-ую очередь соор. № 6 на р. Сев. Донце.
Снимок 20 июня 1911 года.

При этом для отсыпки применялся различный грунт, начиная от чистого песка и кончая песчано-глинистым грунтом с сильной примесью гальки.

В случае применения чистого песка требовалось в полтора раза большее количество грунта, нежели это необходимо по подсчету по чертежам, что объясняется размываемостью песчаной отсыпи при откосе 1 : 2 и при скорости течения 1,5 м (5') в секунду.

Применение второго шпунтового ряда в углах перемычки—единственная дополнительная мера, применявшаяся при постройке Донецких плотин при песчаном грунте отсыпи за перемычку.

Черг. №№ 400—403 изображают описанный тип перемычки при высоте над грунтом от 2,13 м (1,00 саж.) до 4,26 м (2,00 саж.).

Для лучшего затягивания пустот в песчаной отсыпи, а также в промежутках между шпунтовыми сваями, необходимо сначала медленно откачивать воду, усиливая водоотлив в дальнейшем, когда частицы грунта займут окончательное свое положение, и насыпь уплотнится.

Самая забивка свай производилась с временных подмостей из поперечин-подтоварников, перекрывающих головки свай, забитых в 3,2 м (1,50 саж.) друг от друга в направлении подтоварника, а также в перпендикулярном направлении.

Передвижение копра осуществлялось по брусам или бревнам, перемещаемым по подмостям. Сваи для подмостей забиваются вручную.

Вместо устройства подмостей применяют парные понтоны, связанные между собой брусчатым помостом, на коем укрепляется копер. Рассмотренный тип перемычки в отношении фильтрации стоит выше предыдущих.

Более значительные скорости, неблагоприятные условия прохода льда и другие обстоятельства могут заставить изменить тип шпунтовой перемычки и при глубинах в 4 м (2,00 саж.).

В этих случаях переходят к двойным досчатым шпунтовым рядам с промежуточной засыпкой грунтом.

При больших глубинах до 6,5 м (3,00 саж.) досчатые шпунтовые ряды заменяются брусчатыми—толщиной до 7" = 17,8 см (4 верш.).

Расстояние между шпунтовыми рядами берется обычно равным высоте перемычки над грунтом, а иногда даже несколько меньше: до $\frac{3}{4}$ высоты в случае плотного грунта.

В каждом отдельном случае расчетом можно найти более правильное соотношение основных размеров перемычки рассматриваемого типа, а также необходимую глубину забивки свай ¹⁾.

Заполнение пространства между шпунтовыми рядами лучше всего производить рефулированием, чем достигается весьма значительное уплотнение грунта путем затягивания пор засыпки мелкими частицами, а промежутков между шпунтовыми сваями песчинками.

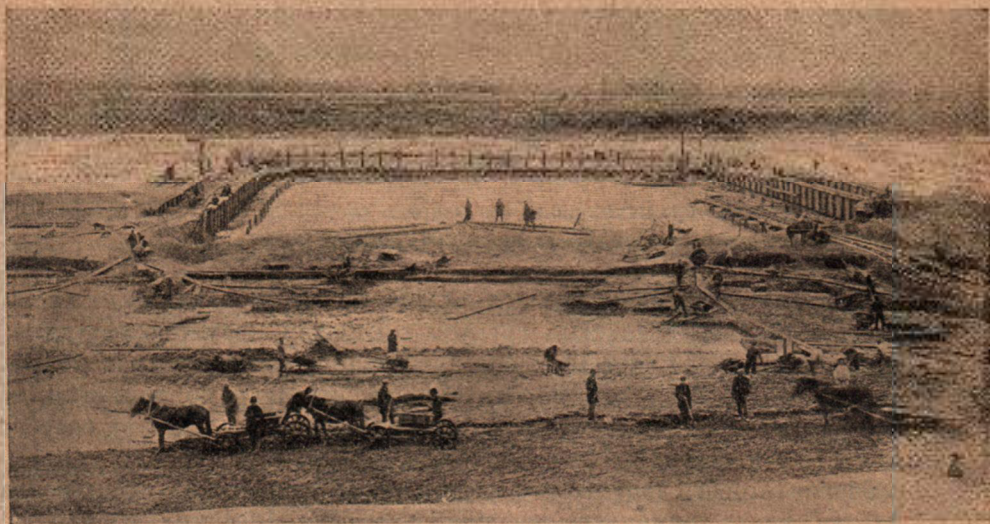


Рис. 2. Устройство двухрядной перемычки на р. Шексне для постройки плотины.

Стоимость перемычки рассматриваемого типа выше, нежели всех предыдущих, зато расходы на водоотлив уменьшаются.

Кроме того, получается перемычка большой прочности, что обеспечивает спокойную работу в огражденном пространстве при самой неблагоприятной осенней подвижке льда, а также дает перемычке возможность противостоять весенним водам.

Тип перемычки с брусчатыми шпунтовыми линиями успешно применялся и применяется на р. Шексне с 1913 года по сие время.

В настоящее время исправно работает на р. Шексне уже 10-ая перемычка рассматриваемого типа (постройка плотины у дер. Черепаново).

Черт. №№ 404 – 405 изображают профиль и план описанной перемычки.

Конструкция ясна из чертежей.

¹⁾ Расчет в виду его сложности целесообразен лишь при больших глубинах: свыше 7 м. При меньших глубинах можно пользоваться существующими опытными данными (см. черт. № 404).

При забивке деревянного шпунта в твердый грунт очень трудно не повредить свай.

Для поддержания шпунтового ограждения часто приходится ставить распорки, иногда довольно сложные.

Изложенным объясняется стремление спроектировать шпунтовые ограждения более прочного и устойчивого типа, не оказывающего в то же время слишком большого сопротивления забивке.

Нужда в подобных шпунтовых рядах особенно сказывается при больших высотах ряда над грунтом и при большой глубине забивки свай.

С целью удовлетворить упомянутым требованиям применяются железные шпунтовые сваи (с 1901 года).

В настоящее время имеется множество типов железных прокатных шпунтовых свай. Все они отличаются тем, что имеют края, охватывающие соседние сваи, благодаря чему невозможно отклонение от ранее забитой сваи. Деревянные сваи фактически не обладают этим важным преимуществом.

Жесткость охватывающих краев («замыкателей») позволяет железнному шпунту противиться значительным боковым усилиям без применения распорок.

Различные типы железных шпунтовых свай отличаются друг от друга жесткостью замыкателя и моментом инерции поперечного сечения сваи.

Все типы свай имеют некоторую игру в замыкателе.

Наибольший угол отклонения одной сваи от другой— 20° .

Это позволяет забивать шпунтовый ряд по кривой или избегать камней, попадающихся по намеченной линии (черт. № 406).

Водонепроницаемость железных шпунтов выше, нежели деревянных: замыкатели не позволяют сваям выходить одна из другой, чем обеспечивается безупречное качество шпунтовой линии (черт. №№ 406—409).

Каждая свая сечения № 407 по забивке дает в плане $12\frac{3}{4}$ пог. дм. = 32,4 см шпунтового ряда. Соединение свай гибкое, допускающее угол вращения до 40° (по 20° в каждую сторону), из чего можно заключить, что из 4-х свай можно образовать прямой угол.

Соединение может быть нарушено лишь выниманием сваи продольно по оси ее, но не в сторону.

Сваи в соединении соприкасаются по трем вертикальным линиям, так что всегда имеется плотное сопряжение при минимуме трения во время забивки и выдергивания, при чем остается возможность поместить материал в сопряжение для достижения еще большей водонепроницаемости.

Черт. №№ 406—409 изображают сечения железных шпунтовых свай различных типов: меньшего и большего момента сопротивления для применения в более легких и более тяжелых условиях работы.

Черт. № 410 изображает перемышку из свай Laskawana для постройки плотины в Америке. Опорами шпунтовых рядов служат подмости (1922 г.).

Ряжесые перемышки применяются при скалистых грунтах или валунных, когда невозможна забивка свай. В русской практике известны случаи устройства ряжесых перемычек и при мягких грунтах при значительных высотах ряжа (свыше 9 м при морских работах в военных портах). Ряж или обшивается с внутренней стороны досками (рубка ряжа в просвет), или при плотной рубке заполняется грунтом без применения обшивки. Лучший грунт для заполнения—песок.

Перемышки на козлах с легкой забивкой досчатого шпунтового ряда — щита применяются в случае грунта, не допускающего забивки свай, но позво-

ляющего опустить в грунт досчатый щит на небольшую глубину: 0,4—0,5 м (0,15—0,25 саж.).

Такой случай часто встречается при скалистом грунте, имеющем верхний рыхлый слой.

Черт. № 403 изображает конструкцию перемычки на козлах, примененной на р. Сев. Донце, на сооруж. № 4 у хут. Виноградный, где грунт (разрыленная скала, переходящая в прочную скалу), не допускал забивки свай, вследствие чего пришлось отказаться от типа, примененного на других сооружениях р. Сев. Донца: одиночного досчатого шпунтового ряда с земляной отсыпкой на воду.

§ 4. Водоотлив и временная силовая станция.

При устройстве плотин на реках обычно прибегают к ограждению части реки перемычками. На огражденной площади производят работу по постройке данной секции плотины.

Работа за перемычками сопровождается чаще всего непрерывным и, реже периодическим действием насосов, удаляющих воду из котлована.

Вода просачивается чрез перемычку, а также появляется при вскрытии водовосных слоев грунта котлована.

При песчаных грунтах роль котлованной воды является главной, если перемычка не является простой песчаной отсыпью.

В этом последнем случае приток воды чрез перемычку весьма обилен, в особенности в первоначальный момент; затем он быстро падает, если не форсировать откачки воды, предоставляя перемычке возможность уплотниться и заилиться.

Тогда, при осушении огражденной площади, можно понизить приток воды против первоначального момента.

В качестве примера можно привести случай, описанный инж. Юргевичем в его книге «Перемычки с песчаной загрузкой и подводные взрывные работы», когда приток воды через перемычку на козлах с песчаной загрузкой достигал сначала $0,488 \text{ м}^3$ (0,107 куб саж.) в час с 1 п. м (1 пог. саж.) контура перемычки при разности горизонтов внутри и вне огражденного пространства в 85 см (0,40 саж.); затем, по осушении огражденной площади, приток воды понизился до $0,137 \text{ м}^3$ (0,03 куб саж.) в час с той же единицы (соответственной).

Следовательно здесь интересным является начальный момент, а роль величины подпора сводится к времени, в течение коего падает приток воды с первоначального до минимального.

При чистой песчаной отсыпи без козел и обшивки явление протекает не столь резко: приток воды остается значительным все время, заметно понижаясь с течением времени при достаточно сильном профиле перемычки.

В дальнейшем, при отрыве котлованов, главную роль начинает играть вода водоносных слоев вырываемого песчаного грунта.

При перемычках из однорядного шпунта с отсыпью грунтом роль фильтрационной воды быстро становится незначительной по сравнению с водой котлованной.

Пример—постройка плотин на р. Сев. Донце (1911—1914 г.г.).

При двухрядном брусчатом шпунте с промежуточной засыпкой грунтом вода почти вовсе не фильтрует через перемычку.

Пример—плотины на р. Шексне (1921—1923 г.г.). Здесь главную роль играет котлованная вода.

Наблюдения, произведенные автором над работой водоотливных устройств в 12-ти случаях дали следующие результаты.

При песчаных грунтах (шесть отдельных перемычек) на р. Сев. Донце приток воды к насосам доходил во всех шести случаях до 0,3 литра в секунду с 1 кв. саж. вскрытой площади котлована под плотину (0,0659 литров с 1 м²).

При глинистых примесях к песку приток воды падал до 0,2 литра в сек. (четыре отдельных перемычки).

При глинистых грунтах на р. Шексне приток воды равен был (2 перемычки Черепановской плотины) максимум 0,15 литра в секунду с 1 кв. саж. вскрытой площади котлована под плотину (0,03297 литров с 1 м²).

При этом отметка горизонта воды вне перемычек превышала отметку дна котлована: на р. Сев. Донце на 3,8—4,25 м (1,80—2,00 саж.), на р. Шексне на 5,75—6,40 м (2,70—3,00 саж.).

За отсутствием опубликованных более подробных данных по вопросу, приведенными нормами можно пользоваться для предварительных соображений при назначении производительности насосов пред приступом к работам по устройству на реке плотины.

Выбрав достаточное число насосов (обычно в пределах от 4'' = 10 см до 10'' = 25 см и реже 12'' = 30 см), удовлетворяющих приведенным нормам, берут дополнительно насос пониженной производительности для лучшего осушения котлована, ибо насосы в 8'' — 10'' приходится выключать раньше полного осушения котлована, чтобы не произошло остановки в работе насоса из-за засасывания воздуха ¹⁾.

Так, при устройстве флютбета плотины 1 очереди сооружений № 3 на р. Сев. Донце работали насосы (центробежные):

1. Насос 10'' Борзиг.
2. » 8'' Вортингтон.
3. » 6'' = 15 см Вортингтон.
4. » 5'' = 12,7 см Лист (для лучшего осушения котлована).

Одна квадратная сажень вскрытой площади котлована давала до 0,3 литра в секунду (0,0659 л с 1 м²).

Насосы располагают у речной стенки перемычки.

Что касается стоимости водоотлива, то во всех указанных выше случаях водоотлив обходился, примерно, в 8% от затрат на выполнение всех работ, требовавших водоотлива.

В тех случаях, когда насосы приводились в работу непосредственно паровыми или нефтяными двигателями, установленными у каждого насоса, водоотлив удорожался по сравнению с расходами при ином устройстве, когда на сооружении устанавливалась временная электромеханическая станция (2 локомотива и 2 динамо) питавшая одновременно насосы, бетоньерки и осветительную сеть.

Общую потребную мощность N находят, зная потребную мощность:

- 1) на водоотлив — N_1 ,
- 2) на бетоньерки — N_2 ,
- 3) на освещение и пр. — N_3

¹⁾ Насосы берут центробежные ввиду больших количеств воды и небольшой высоты подачи; при устройстве малых сооружений обходятся ручными насосами.

Очевидно,

$$N_1 = \frac{H \cdot \Omega_1}{75} \cdot 0,3 \cdot 1,5, \text{ где}$$

H — высота подачи (в метрах) удаляемой воды, считая от дна котлована до оси трубы, выливающей воду в лоток;

Ω_1 — площадь вскрытого котлована в кв. саж.;

0,3 — приток воды в литрах в секунду ($= 0,066 \text{ л с } 1 \text{ м}^2$) и

$1,5 = \frac{1}{m \cdot n}$ при m — коэфф. пол. д. эл. моторов и n — коэфф. пол. д. насосов.

$N_2 = \frac{Q}{2}$, где Q — производительность бетоньерки в куб. саж. за 8-ми часовой рабочий день, ибо на каждую куб. саж. указанной производительности расходуется $\frac{1}{2}$ лошадиной силы.

$N_3 = \frac{2,5 \cdot \Omega_2}{50}$, где Ω_2 — освещаемая площадь в кв. саж. ибо на каждые 50 кв. саж. освещаемой площади расходуется примерно 2,5 лошадиных сил. Сюда же входит энергия на освещение береговых и пр. помещений.

Итак к приемникам электрической энергии должно быть подведено лошадиных сил: $N = 0,006 H \Omega_1 + 0,5 \cdot Q + 0,05 \cdot \Omega_2$. В метрических мерах (литр, метр, м^3 , м^2) имеем: $N = 0,00133 H \Omega_1 + 0,0515 Q + 0,011 \Omega_2$; приток $= 0,066 \text{ л с } 1 \text{ м}^2$.

Локомобиль соединяют с динамо посредством ременной передачи, имеющей коэфф. пол. действ. $\eta = 0,8$ ¹⁾.

Удобнее всего брать две динамо и два локомобиля половинной мощности от потребной.

При этом промывка котлов осуществляется без прекращения водоотлива.

К тому же, вследствие неравномерности работы станции, один из локомобилей может выключаться из работы станции, чем достигается экономия.

§ 5. Земляные работы.

а) Мягкие грунты.

При выемке грунта из котлованов под плотины в России применяются преимущественно следующие способы производства работ:

- 1) тачками,
- 2) вагонетками,
- 3) конной возкой при отрытии котлованов вручную лопатами.

При производстве работ с водоотливом стоимость 1 куб. саж. (метр) вынутого грунта складывается не только из непосредственных затрат на земляные работы, но также прибавляются вкладные расходы, вызываемые водоотливом. Так как водоотлив в течение суток обходится в определенную сумму, то чем больше будет вынуто грунта за сутки, тем меньше обойдется стоимость удаления из котлована 1 куб. саж. (метр) грунта.

¹⁾ Соединяя насосы с моторами непосредственно, получаем экономию, за отсутствием ременной передачи, имеющей к. п. д. $\eta = 0,8$ и требующей перетяжки ремня при переменной влажности воздуха.

Таким образом последняя уменьшается в зависимости от 2-х причин:

1) уменьшения непосредственных расходов на выемку 1 куб. саж. (метр) грунта, что достигается рационально избранным способом производства работ;

2) достижения максимальной производительности в целях понижения накладных расходов, вызываемых водоотливом.

Эти соображения необходимо иметь в виду при выборе способа производства работ.

Теперь перейдем к оценке упомянутых способов.

Тачечная возка является незаменимым способом при короткой поперечной возке и не крутых выездах.

Таким образом особенно рационально прибегать к тачкам при устройстве дамб, сопрягающих устои плотины с берегами.

Попытка применить этот способ в широком масштабе при постройке плотин на р. Сев. Донце дала отрицательные результаты при удовлетворительных выездах из котлованов плотин.

1 куб. саж. вынутого грунта обходилась подрядчику в 9 рублей со всеми накладными расходами, кроме водоотлива (93 коп. за 1 м³).

Грунт песчаный, имеющий в тачке вид разжиженной массы.

Вагонетная возка в тех же условиях давала на 1 куб. саж. грунта 7 руб. (72 коп. за 1 м³) включая устройство подмостей, не считая ускорения работ, что удешевляло выемку 1 куб. саж. грунта на 2 руб. (21 коп. на 1 м³).

Однако тачечная возка может явиться прекрасным подсобным способом при невозможности дальнейшего усиления вагонетной возки.

Этому способствует эластичность первого способа.

При крутых выездах устраивают подмости, стремясь уменьшить подъем пути для вагонеток, или, наконец, обращаются к применению паровых лебедок, вытягивающих вагонетные поезда.

При этом мощность на валу машины должна быть равна.

$$N = \frac{P \cdot v \cdot (f + a)}{75} \text{ лошадиных сил.}$$

где P — вес поезда в кг

» v — 0,50 м/сек. — скорость подъема

» f — 0,03 усилие тяги на горизонтальной плоскости

» a — подъем пути: 0,15 — 0,20 и т. д.

Вес груженой вагонетки Дековилля емкостью 0,09 куб. с. надо принять в 1½ тонны = 1500 кг.

Конная возка, несмотря на свою примитивность, является хорошим способом для отвозки сухого грунта при не слишком затруднительных выездах при дальности возки от 35 до 60 с. (75—130 м).

Недостаток конной возки — медленность работы при значительной занятой площади.

Медленность выемки, производящейся с водоотливом, вызывает значительный накладной расход.

Так, при стоимости водоотлива в 60 руб. в день и выемке 300 м³ (30 куб. саж.) в день накладной расход на 1 м³ равен 20 коп., при 400 м³ (40 куб. саж.) в день — 15 коп. и 100 м³ (10 куб. саж.) — 60 коп. (цифры взяты из практики по Северному Донцу).

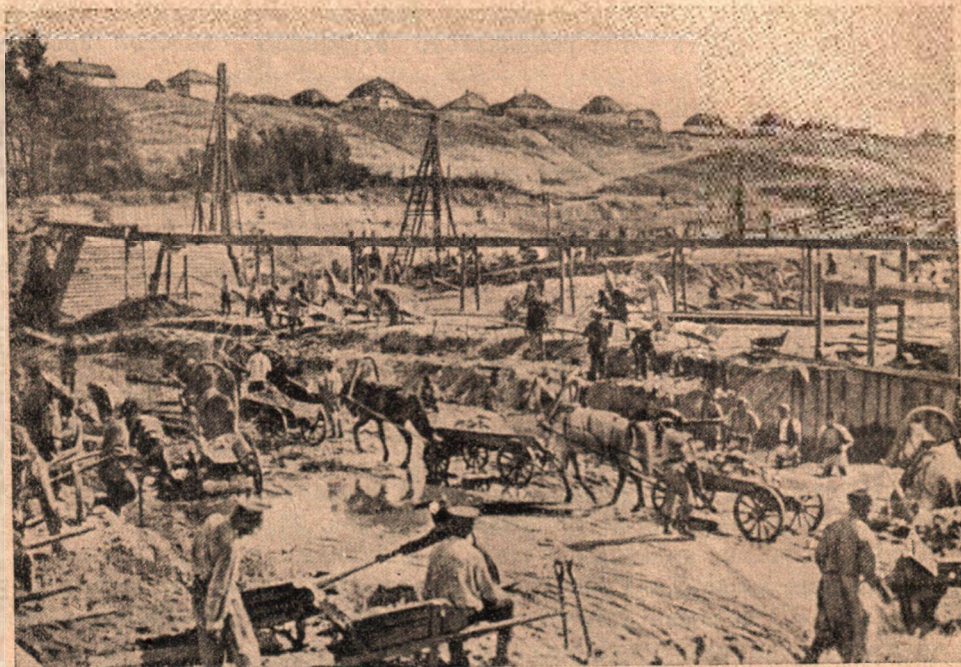


Рис. 3. Земляные работы при устройстве соор. № 3 на р. Сев. Донце.
Снимок 20 июня 1912 года.

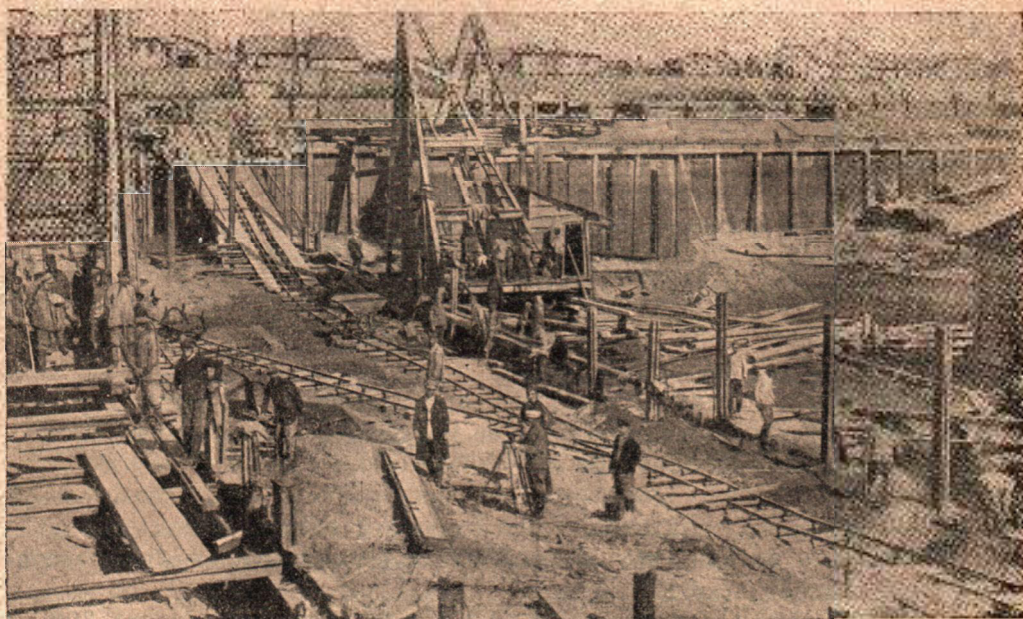


Рис. 4. Постройка 3-ей очереди (последней) Черепановской плотины на р. Шексне.
Выемка котлована с применением паровой лебедки.
Снимок 23 августа 1923 года.

Производительность конной возки при указанных выше условиях равна 2 куб. саж. = 19,5 м³ на лошадь, когда вагонетный поезд делает 22 оборота при емкости вагонетки в 0,08 куб. саж. = 0,78 м³.

Выяснив число вагонеток в поезде по местным условиям и определив производительность, находим, при известных расходах на водоотлив, правильное решение, когда 1 м³ (куб. саж.) вынутого грунта обходится в минимальную сумму.

Как общее правило, однако, можно было бы помнить, что грабарная возка (конная) хороша в котлованах с хорошими выездами, когда эти котлованы не являются центром работ.

Кроме изложенного, большую роль играет, конечно, наличие инвентаря у организации, производящей работу.

Очевидно при не слишком крупных работах нет смысла заводить иной инвентарь, если имеется налицо пригодное оборудование, даже если оно и не лучшее при данных обстоятельствах.

Применение землесосов, если они работают на данной реке по расчистке фарватера, крайне желательно при песчаных грунтах.

Одночерпаковый экскаватор (паровая лопата) весьма сокращает применение рабочей силы при усовершенствованных приемах транспортирования вынутого грунта.

Одна выемка грунта потребовала бы в 13 раз меньше рабочих, нежели при ручном производстве работ.

При постройке плотин в Америке транспортирование грунта последнее время происходит почти исключительно канатными кранами, т. е. канатными линиями, перекинутыми чрез котлован с берега на берег; по линиям движутся бадьи, переносящие грунт в кавальеры.

Для этой цели на каждом берегу устанавливаются башни с необходимым механическим оборудованием, снабженные противовесами.

Средняя емкость бадьи — 1½ вагонетки Дековила в 0,08 куб. саж. т.-е. 0,12 куб. саж. = 1,165 м³.

Число рейсов бадьи — 16 в час, т.-е. одна бадя в час дает в среднем 18,6 м³.

Число канатных линий определяется с одной стороны их стоимостью, а с другой стороны рациональным расстоянием между линиями при известной их производительности и ширине котлована, при условии обеспечения достаточной работы канатным кранам, чтобы их применение могло окупиться.

Механизация строительных работ вообще и механизация земляных работ в частности дает поразительные результаты в смысле быстроты производства работ и сокращения применения рабочей силы.

Однако она явно предпочтительна была бы лишь при очень крупных работах или при наличии программы строительных работ на много лет даже при не очень большом объеме работ на каждый год, т.-е. при условиях, которые в Америке обеспечены для инвентаря, имеющего возможность окупиться до полной его амортизации.

В противном случае единовременные затраты на инвентарь могут оказаться в несоответствии с объемом предстоящих работ, при каких обстоятельствах приходится прибегать к более примитивным способам производства работ по тем же самым экономическим соображениям, по которым вводится в известных условиях механизация производства.

Заряд динамита помещается в нижней трети шнура или в нижней его половине по высоте.

Электрические машины требуют гораздо меньших затрат, нежели воздушные, для коих нужны дорогие стоющие компрессоры и трубопроводы, гораздо более дорогие, нежели динамо-машины и проводники электричества.

Следовательно, при временных установках гораздо выгоднее пользоваться электрической энергией.

Недостатки электрических бурильных машин — быстрое нагревание, заставляющее через 3 часа прекращать на время работу, и меньшая надежность — не должны пугать при наличии запасных приборов в количестве 25%, как это выработано практикой.

Электрические перфораторы питаются генераторами особого устройства.

В случае потребности в большом числе перфораторов, выгодно их разбивать на группы (4—5 в каждой). Расход энергии, примерно, равен 4 НР на прибор при диаметре шнура в $1\frac{1}{4}$ " = 3,2 см.

§ 6. Заготовка материалов.

Заготовка материалов заранее предвещает перерасход по смете или остаток средств, так что энергия и опыт строителя часто не в состоянии компенсировать неблагоприятных результатов неудачной заготовки материалов.

Перед приступом к работам необходимо располагать данными строительных изысканий, выяснивших условия получения различных материалов к месту работ.

Важнейшие материалы — камень, дерево, металл и цемент.

Камень обращает на себя особое внимание строителя, ибо на каменных работах легче всего достигнуть экономии, оставив ее на непредвиденные работы, вызванные возможными паводками.

Заготовке подлежат: щебень, бутовый камень, угловые камни, облицовка устоев плотины.

Щебень удобнее всего готовить на месте работ из камня, доставленного из карьеров.

При выборе карьеров для разработки камня, кроме условий, касающихся качеств камня, необходимо обратить особое внимание на условия разработки карьеров, складывание и транспортировку материалов. Дело в том, что часто карьер с хорошим камнем является мало интересным, ввиду отсутствия складочных площадей.

При таких обстоятельствах полезная мощность карьера становится незначительной и недостаточной.

Камень доставляется из карьеров к сооружению на подводах, по вспомогательной жел. дор. линии или по воде, что зависит от места расположения карьера и расстояния от карьера до сооружения.

При значительных количествах потребного щебня (свыше 500—600 куб. с. = около 5500 м³) ручная разбивка щебня становится невыгодной, вследствие чего прибегают к применению камнедробилок, что обеспечивает получение щебня одинакового размера и не ставит в зависимость от наличия свободных рабочих рук.

Наиболее употребительные камнедробилки, применявшиеся при постройке плотин на русских реках средней величины, дают в сутки около 12 куб. саж. = 116 м³, требуя двигателя в 12—15 НР.



Рис. 5. Богдановский карьер на р. Сев. Донце у соор. № 6.
Снимок 15 июня 1911 года.



Рис. 6. Моренный карьер на р. Шексне у Черепановского сооружения.
Снимок 1 августа 1922 года.

Такая камнедробилка за 2—3 месяца обеспечивает сооружение щебнем на все время работ.

Черт. № 412 изображает камнедробилку с наклонным грохотом, позволяющим получать щебень требуемой крупности (3 размера).

Облицовка и угловые камни для отделки кладки устоев плотины, а также бычков, если таковые имеются по проекту, должны быть заготовлены в карьерах песчаника или гранита (по местным условиям), а оттуда доставлены к месту работ.

Предварительно должны быть произведены надлежащие испытания камня в механической лаборатории.

Заготовка дерева, при отсутствии местных лесов, и металлических конструкций плотины сводится к своевременному заказу их в солидных предприятиях с обращением особого внимания на выбор предприятия и составление договора, обеспечив тщательнейшим образом соблюдение сроков.

В дальнейшем остается лишь транспортировать материалы к месту работ по воле или железной дороге, в зависимости от местных условий.

При наличии местных лесов, пригодных для получения бревен и брусьев, и *лишь при отсутствии на месте солидного лесного предприятия* необходимо прибегнуть к собственным лесозаготовкам, стремясь создать для этого организацию, работающую при жесткой смете и жесткой программе с сохранением внутренней эластичности: всякое подсобное предприятие при постройке гидротехнических сооружений необходимо рассматривать, вообще говоря, как неизбежное зло; следовательно его надо заранее поставить в указанные рамки.

При сколько-нибудь солидном сооружении необходимо избегать ручного приготовления шпунтовых свай, а прибегать к применению шпунто-резных станков, обеспечивающих правильную нарезку гребня.

Ручное приготовление шпунта, при недостаточно бдительном надзоре, может привести к необходимости дополнительной работы по переделке приготовленного материала в самое неподходящее время, когда шпунтовые сваи должны уже забиваться в грунт.

Цемент должен быть взят с ближайшего завода.

Выбор завода может ныне производиться исключительно по экономическим соображениям, ибо большинство русских заводов дают портландцемент высшего качества, нежели этого требуют существующие нормы, применяемые при испытании портланд-цемента.

Приготовление металлических конструкций для плотины лучше всего производить на заводе, имеющем навык в приготовлении аналогичных конструкций.

Склепка частей конструкции должна производиться на месте работ распоряжением того же завода.

Следовательно, задача сводится к своевременной сдаче подряда заводу, чтобы выговорить необходимые сроки выполнения заказа.

§ 7. Бетонные работы.

Флютбаты солидных плотин проектируются в настоящее время чаще всего бетонные.

При таких обстоятельствах бетонные работы входят крупной единицей в состав всех работ по устройству плотины, так что на организацию их необходимо обратить особое внимание.

Обычный состав бетона для флютбета плотины — 1:3:n, где n определяется в каждом отдельном случае опытным путем.

Для определения величины n находим объем пустот в щебне, предназначенном для бетонных работ.

Вагонетку Дековилия, емкостью p_1 ведер, наполняем щебнем, предварительно смоченным водою, и затем наливаем воды в вагонетку.

Пусть воды поместилось в вагонетке со щебнем — p_2 ведер.

Тогда количество пустот в щебне равно — $\frac{p_2}{p_1} \cdot 100\%$.

Эти пустоты должны быть заполнены раствором. Прибавляя минимум 10 — 15% на несовершенство перемешивания и во избежание расслоения бетона, получим бетон состава 1:3:n, где n уже известно (примерно 1:3:6, 1:3:7).

При сколько-нибудь значительных работах и известных требованиях к качеству бетона необходимо пользоваться машинным приготовлением бетона.



Рис. 7. Подготовка к бетонным работам по шлюзу и плотине 1 очереди соор. № 6 на р. Сев. Донце.
Снимок 10 сентября 1911 года.

Преимущества машинного способа сводятся к следующим:

- 1) экономичность,
- 2) однородность состава,
- 3) значительная производительность,
- 4) малая площадь для завода,
- 5) упрощение организации.

В зависимости от условий производства работ, наличия инвентаря и размеров плотины, возможно применить сразу 2 бетоньерки или одну бетоньерку с дополнительным приготовлением бетона вручную.

К последнему часто прибегают также по соображениям особого порядка: необходимо задержать артели, одинаково пригодные и для земляных работ и для короткой перевозки камня в тачках и вагонетках и для ручного приготовления бетона.

Работа на бетоньерке не должна быть сдельной, так как при хорошем надзоре сама работа бетоньерки обеспечивает развозку и укладку бетона.

Работа вручную требует дружных работников, тяготеющих, конечно, к сдельной оплате труда. Здесь и пригодились бы упомянутые артели, крайне необходимые до конца работ: они же пригодятся и для разборки перемычки.

Бетоньерка должна приводиться во вращение электромотором от общей электрической станции (см. водоотлив § 4).

Схема станции изображена на черт. № 411.

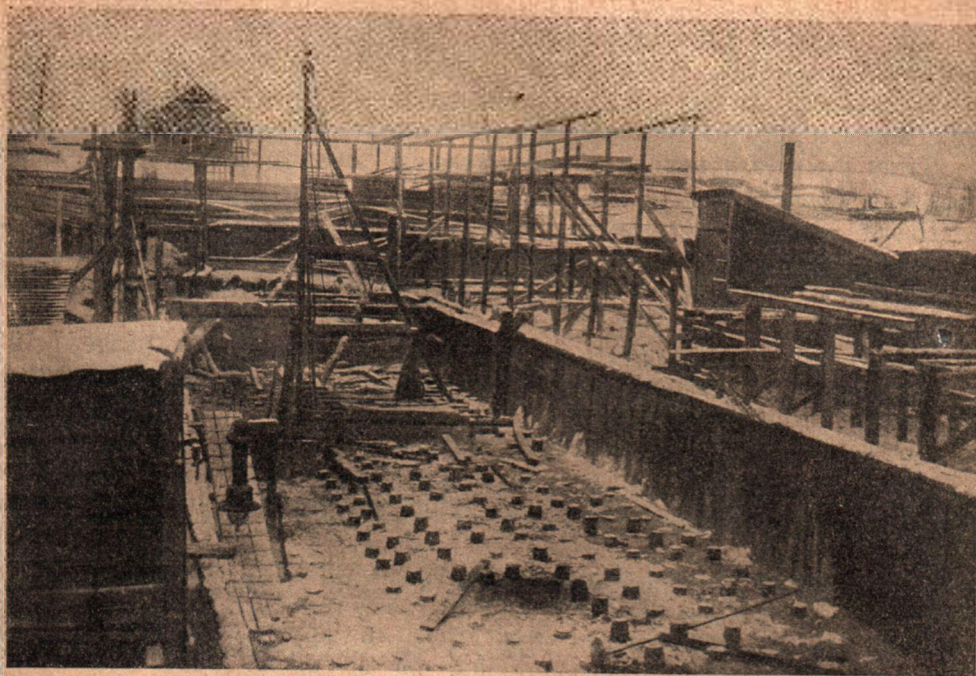


Рис. 8. Устройство свайного основания под флютбет Черепановской плотины (2-ая очередь), на р. Шексне.
Снимок в январе 1923 года.

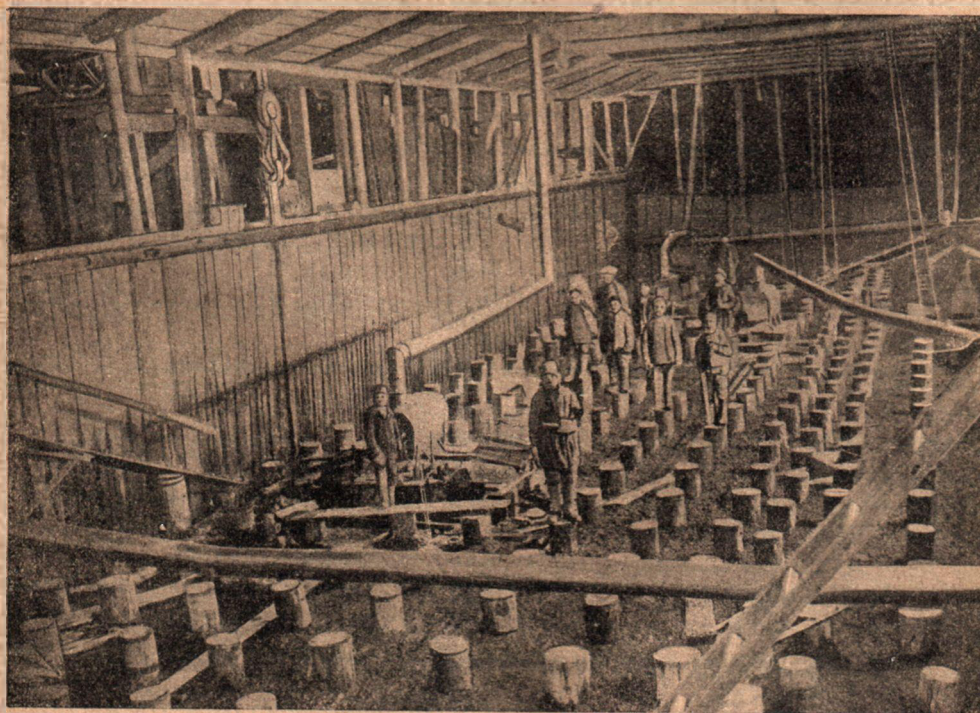


Рис. 9. Устройство 2-й очереди Черепановской плотины. Бетонные работы в тельяках зимой.
Снимок 20 февраля 1923 года.

Как только бетоньерка приведена во вращение, установленная на помосте с тем расчетом, чтобы бетон силой тяжести поступал в тачки и вагонетки для развозки его по котловану под плотину, — немедленно в воронку высыпается песок и щебень тачками, заранее размеренными.

Затем высыпается цемент из специального мерного деревянного ящика, окованного железом.

После загрузки бетоньерки открывается кран мерного ящика с водой и состав, перемешиваясь, постепенно смачивается водой, вытекающей из трубки, проведенной в бетоньерку. Иногда вода наливается просто ведрами в количестве, заранее определенном на один замес (черт. № 414).

Количество воды для жесткого бетона назначается в размере 12% от объема песка и цемента и затем меняется в зависимости от влажности поступающих песка и щебня.

Готовый бетон разгружается обычно в вагонетки, которые ходят по замкнутому контуру по очертанию котлована. Для одной бетоньерки достаточно максимум 4 вагонетки, при длине участка плотины в около 64 м (30 саж.).

Из вагонетки бетон сбрасывается на переносные платформы, откуда забирается на тачки для развозки по всему котловану.

Этот способ применялся вначале и на крупных гидротехнических работах по шлюзованию р. Сев. Донца, но во время работ стало совершенно очевидным, что такой способ далек от совершенства.

Во-первых, бетон из бетоньерки падает в вагонетку, во-вторых, при движении по рельсовым путям на стыках происходят сотрясения нарушающие однородность, в-третьих, сбрасывание на платформу также вызывает необходимость перемешивания бетона для восстановления нарушенной однородности.

Внимательное наблюдение за производством работ по указанной схеме и желание найти наиболее совершенный способ и в смысле дешевизны, заставили несколько изменить оборудование.

Бетон принимался из бетоньерки в наклонный лоток сегментного сечения, обитый жстью. В конце лотка был устроен деревянный засов.

Бетон поступал непосредственно в подставленные тачки (засов работал в промежутках между загрузками тачек), которыми развозился по катальным доскам непосредственно в требуемое место плотины.

Тачечная возка представляет собою чрезвычайно гибкий способ доставки бетона непосредственно к месту укладки.

Простота и быстрота работ при таком порядке заставили строителей всех 6-ти плотин на р. Донце перейти от вагонетного способа к тачечному. При этом качество укладываемого бетона улучшилось. При максимальной дальности возки в 55 м (25 саж.) требовалось не больше 5 тачек при полезной емкости бетоньерки в 3—3½ тачки (производительность 6 куб. саж. = 58 м³ в смену). Число рабочих на бетоньерке 25 человек, включая трамбовщиков.

При постройке плотины необходимо стремиться к особо интенсивному производству работ, в виду необходимости закончить работу до прохода высоких вод с одной стороны, а с другой стороны — в целях сокращения расходов на водоотлив, который производится непрерывно и стоит больших денег (см. водоотлив).

Поэтому от поденной платы труда надо решительно отказаться, оставляя ее для мелких вспомогательных работ: прочистки канав, разравнивания кавальеров и пр.

Но при работе бетоньерки, как сказано выше, целесообразна именно поденная оплата, так как бетоньерка сама заставляет рабочих проявлять живость и быстроту. Так как последнее обстоятельство ставило бы эту группу поденщиков в неблагоприятное положение по сравнению, например, с чистильщиками канав (спокойная работа), то выходом из положения является несколько повышенная оплата поденщиков, работающих на бетоньерке.

Опыт показал, что равновесие наступает при повышении оплаты труда на 35%: вместо 1 рубля — на бетоньерке платили 1 р. 35 коп.

Укладка бетона должна вестись с соблюдением следующих условий: 1) чтобы фильтрационная и ключевая вода имели свободный сток к водоприемным колодцам, без размывания и выщелачивания раствора из только что положенного бетона, 2) чтобы стыки слоев располагались в перевязку.

Вопрос об удачном отводе воды из различных частей котлована к водосточным колодцам во время производства бетонирования в каждом частном случае может решаться различно.

Приведем примеры приемов, которые на практике привели к удачным результатам.

Первый слой не доводят до шпунтовых стенок, а обрезают его посредством досок, поставленных на ребро в 0,10 с. = около 20 см от шпунта, вследствие чего между шпунтовым рядом и бетоном образуется канал, по которому и течет вода к колодцу, где помещен насос. Затем начинают бетонировать второй слой и его обрезают на некотором расстоянии от первого.

После того, вынув доску, бетонируют от шпунта прежний канал и сразу же и второй слой, однако, не доводя его на некоторое расстояние до ранее положенного, благодаря чему снова образуется канал, дном которого служит уже схватившийся и, следовательно, весьма слабо размываемый, первый слой.

Далее начинают вести третий слой. Им перекрывают второй канал и в то же время, не доводя слоя до шпунтового ряда, делают третий канал и т. д. (см. черт. № 413).

В случае очень интенсивного производства работ, когда нижний слой бетона не успеет схватиться, закрывание первого канала можно сделать на третьем или четвертом слое бетона.

Вообще, надо следить за тем, чтобы вода, во избежание вымывания грунта и раствора из под основания, не делала себе ходов под основанием бетона, а поднималась и стекала по верху окрепшего бетона.

Бывали примеры при слабом притоке воды, когда постепенных закрытий каналов не делали, а кладку вывозили на значительную высоту, оставляя у шпунтов штрабу, а после закрывали весь канал сразу, укладывая несколько слоев друг за другом.

Что касается ключей, бьющих на дне котлованов, то невозможно заделывать их до покрытия всего котлована более или менее толстым слоем бетона.

Изолирование отдельных ключей при помощи бездонной цементной бочки давало часто прекрасные результаты.

Иногда приходилось ставить 2 бочки по высоте, обкладывая их при бетонировании жирным бетоном и заполняя бочки по прекращении повышения горизонта воды в бочке.

Здесь уместно упомянуть, что при наличии шпунтовых рядов водобойной части плотины, заботы по поддержанию стока воды к колодцам распадаются на 2 группы: отвод воды, притекающей к котловану извне и отвод воды, появляющейся при выемке грунта.

Необходимо за шпунтовым рядом устроить канаву и поддерживать сток фильтрационной воды, уничтожая дефекты шпунтовых рядов проконопаткой. Этот момент является пробным для шпунтовых рядов.

Эта внешняя канава должна подойти к тому колодцу, к которому несут воду внутренние кюветы вдоль шпунтовых рядов, собирающие воду, притекающую при открытии грунта из котлована.

Природа воды первой и второй группы может быть одинакова или различна (фильтрационная и ключевая), но в отношении производства работ описанное деление все равно сохраняет силу.

Наряду с бетоньеркой могут работать и ручные бойки, которые дают в смену 1,5 — 1,8 куб. саж. = 14,5 — 17,5 м³ при 14 человек в артели.

Трамбование бетона производится вручную или механическим способом.

Трамбовки при ручном способе имеют вес 10 — 14 кг (25 — 35 фунтов).

Более рациональным является трамбование частыми ударами средней силы, нежели сильными, но редкими ударами.

При хорошем трамбовании 4 — 5 трамбовщиков приходится на 1 куб. саж. = около 10 м³ жесткого бетона и 1 трамбовщик для пластичного бетона.

Лабораторные испытания показали, что наибольшая полезная работа трамбования в 10 раз превышает ручную работу трамбования на постройках при благоприятных условиях.

Это обстоятельство указывает на недостаток жесткого бетона.

Что касается механического трамбования, то оно является более дешевым, а главное более надежным для жесткого бетона.

Для пластичного бетона ручное трамбование в четыре раза менее стоимости трамбования сжатым воздухом.

Во время производства массовых бетонных работ легко получить сильный перерасход цемента. Причина в том, что на объемный вес портланд-цемента в значительной мере влияют высота падения при нагрузке, способ заполнения мерного цементного ящика и степень уплотнения при встряхивании или ударах.

Так, 1 куб. фут портланд-цемента может весить на практике от 84 до 123 фунтов (1 м³ весит от 1220 до 1780 кг).

Следовательно, из одной бочки цемента в 10 пуд. 10 ф. в первом случае получится $\frac{410}{84} = 4,88$ куб. ф. распушенного цемента, а во втором $\frac{410}{123} = 3,33$ куб. ф.

При заданном составе бетона 1 : 3 : 6, в действительности может получиться 1 : 4,4 : 8,8 и наоборот.

На практике удобнее всего вести учет цемента, принимая за единицу объема и веса объем и вес бочки цемента.

Так, приняв для цемента, насыпанного в мерный ящик, вес куб. фута в 100 фунтов, получим объем цемента той же рыхлости в одной бочке — $\frac{10\frac{3}{4} \times 40}{100} = 4,1$ куб. фута = 0,1148 м³.

Из вышеизложенного явствует, что учет цемента во время производства работ можно вести время от времени, избегая таким образом перерасхода.

До настоящего времени вопрос о выгоднейшей степени пластичности бетона остался нерешенным и на практике одни строители являются сторонниками жестких бетонов, другие применяют только пластичные или даже литые бетоны.

Важнейшие выводы из имеющихся результатов лабораторных испытаний и данных полувековой практики сводятся к следующему:

1. Образцы из жесткого бетона, приготовленные с тщательным перемешиванием и трамбованием, в более короткие сроки обладают наибольшим (92% через 20 мес.) сопротивлением раздавливанию; с увеличением сроков твердения, разница становится несущественной.

2. Отсутствие текучести раствора и значительное сопротивление перемещению щебенки в связи с стремлением к сортировке по крупности зерен, требуют особенной тщательности перемешивания, разравнивания и трамбования; вследствие этого труднее получить из жесткого бетона однородные массивы без образования пустот между щебенками.

3. Жесткость бетона обуславливает неодинаковую плотность бетонной массы при трамбовании.

4. На практике жесткий бетон применяется для возведения частей сооружения, которые должны подвергаться значительной нагрузке через короткие сроки после возведения, а также для изготовления массивов.

В отношении водонепроницаемости пластичный бетон стоит значительно выше жесткого.

Так, жесткий бетон, хорошо приготовленный, пропускает воду при толщине стены в $4' = 1,2$ м и подпоре воды в несколько десятков сантиметров.

Что касается пластичного бетона, то через 4 недели после его укладки, пластичный бетон водонепроницаем при толщине $15'' = 38$ см и подпоре 6 саж. $= 12,8$ м при составе 1 : 2,5 : 4,5.

Прибавление 10% гидравлической извести или пуццоланы способствует большей водонепроницаемости бетона при сохранении основных качеств его.

Учитывая в каждом специальном случае приведенные соображения и условия производства работ, применяем тот или иной род бетона.

Мы не касались здесь вовсе вопросов о качестве цемента и песка, полагая, что эти вопросы известны из курса строительных материалов и работ.

Цемент требует производства всех испытаний, установленных для портланд-цемента.

В отношении песка надо помнить, что мелкий песок «ест» цемент, вызывая большой расход на 1 куб. единицу бетона.

Лучший подбор песка — это разной крупности от крупного до мелкого ($1/3$ мелкого и $2/3$ крупного).

Примесь к песку пыли и глины допускается не свыше 5%.

Лучший песок — кварцевый.

Много полезных сведений о бетоне, его составе, приготовлении и организации производства можно получать в книгах:

1. А. Mahiels. Бетон и его применение.

2. Житкевич. Бетон.

Черт. №№ 277—279 изображают сопряжение участков плотины двух разных очередей производства работ и относятся к плотине Поаре у хут. Красный на р. Сев. Донце, в 7-ми км от станицы Каменской.

§ 8. Перемычка по флютбету (переходная перемычка).

Так как лишь в редких случаях оказывается возможным выстроить плотину в реке в одну очередь (см. выше), то при переходе к работам второй очереди приходится считаться с необходимостью устроить правильную смычку секций флютбета. Для этого применяется переходная перемычка, которая в зависимости от высоты напора может быть двухрядная или однорядная.

а) Описание конструкции двухрядной переходной пере-
мычки для производства работ по устройству флютбета
плотин.

1. *Конструкция, предложенная инженером И. В. Петрашенъ при шлюзовании р. Шексны* (черт. №№ 415 — 418). Чтобы по окончании одного участка плотины возможно было приступить к работе соседнего участка, необходимо перемычку, ограждающую второй участок, провести через флютбет первого уже построенного участка, а для этого необходимо заблаговременно принять известные меры. Эти меры заключаются в следующем: в расстоянии полу-сажени от конца первого участка закладываются в тело флютбета два ряда вертикальных $d = 2,5$ см болтов в расстоянии друг от друга в 0,15 саж. = 32 см. Болты эти оканчиваются проушиниками, которые поместятся в углублениях заподлицо с облицовкой флютбета. Ряды болтов расположены перпендикулярно к порогу плотины, болт от болта в одном ряду отстоят на 2—4 м (1 — 2 саж.).

Из порога плотины тоже выступают два ряда болтов, заделанных заподлицо с облицовкою порога. Такие же два ряда болтов будут заделаны и далее от конца флютбета первого участка в расстоянии 3,2—4,2 м ($1\frac{1}{2}$ — 2 сажени) от первых рядов. За проушины этих болтов зацепляются крюки из круглого дюймового железа, имеющие на свободных концах резьбу для гаек. На эти концы крюков до окончания работ первого участка наденутся парные брусья; между каждой парой брусьев будет щель шириною в 7 дюймов = 17,8 см, благодаря прокладкам таковой же ширины и болтам, стягивающим брусья вблизи их нижней грани. С внутренней стороны болты имеют проушины, за которые при помощи стального троса и распорок эти пары брусьев удерживаются друг от друга в неизменном расстоянии. Ближайшая к готовому устою пара брусьев удерживается со стороны (будущего) напора стальными троссами, закрепленными к проушинам таких же болтов, заделанных в флютбете, как те, на которые надеты брусья.

За порогом плотины в одну сторону и за флютбетом (в сливе) в другую забиваются шпунтовые ряды таким образом, что насадки их в плане являются продолжением указанных выше брусьев. Верх насадок этих рядов соответствует верхней грани порога с одной стороны и верхней грани флютбета — с другой. Насадки и сваи стесываются под одну плоскость, так что сверху представляют из себя род панели. Щели между сваями и насадками заделываются деревом. Вдоль более удаленной от конца флютбета первого участка шпунтовой стенки с внешней стороны делается бетонная стенка шириною в 0,30 саж. = 64 см, верхней гранью — заподлицо с флютбетом плотины с нижней стороны и заподлицо с порогом плотины сверху. Стенка эта нижней гранью опирается на более или менее нефилтрующий грунт.

Указанные шпунтовые ряды от флютбета и порога идут до конца слива в одну сторону и до конца рисбермы в другую, откуда уже можно начать дальнейшую забивку рядов при приступе к устройству второго участка флютбета.

На насадки этих рядов укладываются брусья, служащие продолжением брусьев на флютбете и пороге, связываются с первыми простым зубом и прибиваются к насадкам ершенными болтами; в брусьях делают гнезда для маячных свай и затыкают их пробками как для того, чтобы они не засорились, так и для того, чтобы их впоследствии легче было найти водолазу. Против гнезд к боковым граням брусьев прибиваются пробои, на которые при сборке перемычки наденутся закладки, прикрепленные к маячным сваям, имеющие назначением не дать возможности этим сваям всплыть. Конец флютбета первого участка, если грунт неособенно надежен, защищается досчатой шпунтовой стенкой, перпендикулярной порогу или каменной отсыпью, во избежание подмыва под флютбет за время перерыва работ между постройкой первого и второго участков плотины.

Окончив такую подготовку (надев брусья на болты, завинтив их гайками и прибив их ершенными болтами к насадкам), можно разбирать перемычки, ограждающие работы первого участка плотины, и спокойно ожидать возобновления работ. Огораживая перемычками работы второго участка плотины, надо начать с перехода перемычкой через готовый участок плотины, пока река не стеснена. Прежде всего при помощи водолаза с плотов вставляют маячные сваи в упомянутые выше гнезда и прикрепляют их закладками к брусьям. Затем устанавливают сваи вертикально, надевают на них насадки, расчаливают и распирают между собою насадки так, чтобы они приходились строго над подводными брусьями, и затем приступают к закладке между ними шпунтовых брусьев. Таким образом, образуются две стенки в расстоянии 3,2—4,2 м ($1\frac{1}{2}$ — 2-х саж.) друг от друга. Под внутренние схватки ставятся подкосы, упирающиеся нижними концами в нижний брус другой стенки. Поверху стенки соединяются между собою деревянными схватками и стальными канатами, которые стягиваются при помощи гаек. После этого можно начать засыпку перемычки.

Для большой устойчивости такой перемычки, по ограждении работ второй (или третьей) очереди, следует сделать в нее упоры со стороны огражденного пространства.

По окончании работ стенки вынимаются, брусья отвинчиваются водолазом и всплывают (если не намокли), крюки вынимаются из проушин, болтов, гнезда во флютбете, в которых помещаются проушины, закрываются чугунными плитами, брусья над насадками скалываются топором, а ершовые болты добиваются в насадки.

2. *Вариант описанной конструкции* применялся при постройке плотины Череповецкого сооружения и применяется при устройстве переходной перемычки между вторым и третьим очередями плотины Черепановского сооружения (черт. №№ 419 — 420).

Вариант переходной перемычки в пределах устройства ее над порогом и флютбетом плотины тождественен с описанной конструкцией инженера Петрашень. В пределах рисберм составные шпунтовые стенки заменяются здесь устройством обыкновенных сплошных брусчатых шпунтовых рядов, идущих до пересечения с поперечными стенками перемычки.

По миновании надобности переходная перемычка в пределах флютбета разбирается подобно описанному в первом типе, а перемычка в пределах рисберм разбирается путем выдергивания свай.

Описанный тип перемычки в обоих вариантах применяется при подпоре свыше 3,2 — 3,6 м (1,50 — 1,70 саж.).

Оба варианта с успехом применялись много раз на р. Шексне и применяются там же в настоящее время (1923 г.).

б) Описание конструкции однорядной переходной перемычки.

Этот тип перемычки целесообразен при меньших подпорах: до 3,2 — 3,6 м (1,50 — 1,70 саж.).

Черт. №№ 421 — 423 изображают конструкцию перемычки в трех проекциях с показанием детали на черт. № 424.

Здесь имеем щит, имеющий снизу очертания по верхней части контура флютбета.

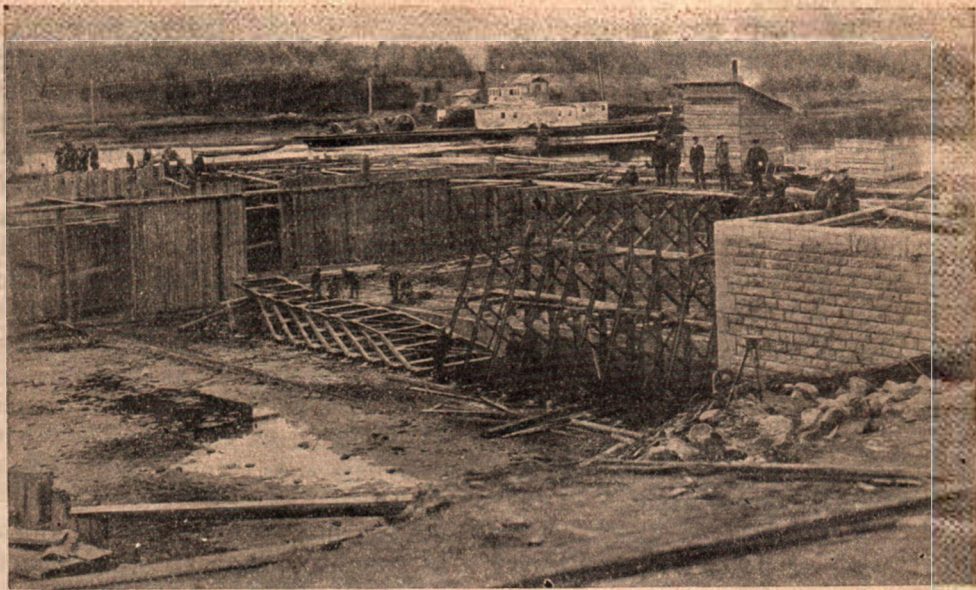


Рис. 10. Установка ферм Поаре после устройства флютбета плотины на р. Шексне.

Щит сколочен из $3'' = 7,6$ см шпунтовых досок с обшивкой снаружи дюймовкой и с прокладкой слоя войлока между обшивкой и щитом.

Стойки щита приболчены к флютбету при помощи уголков, что позволяет стойкам быть съемными.

Стойки упираются в прогоны, которые в середине щита сдвоены.

Четыре пары подкосов с каждой стороны подпирают прогоны; из них одна пара, ближайшая к середине щита, подпирает сдвоенные прогоны.

Подкосы нижними своими концами упираются в насадки постоянных шпунтовых рядов плотины.

Щит примыкает к забитой в грунт перемычке.

Конструкция применена на р. Сев. Донце 12 раз с неизменным успехом (1911 — 1913 г.г.).

§ 9. Разборка перемычки.

Разборка перемычки сводится к двум группам работ: земляным — для удаления засыпки и выдергиванию свай.

Земля должна быть удалена раньше, одним из способов, описанных в § 5, в возможно большем количестве.

Оставшаяся подводная часть засыпки может быть удалена землечерпательным снарядом.

Более сложная работа — удаление свай.

Спиливание свай ниже отметки порога плотины в крайнем случае можно допускать, но часто сваи представляют большую ценность, как материал, так что выгодно затратить средства на их выдергивание.

Вследствие изложенного строители стремились изыскать способы, которые делали бы эту работу дешевой и легкой.

Как известно, для извлечения сваи из земли требуется нарушить сцепление ее с грунтом, после чего свая обычно идет уже значительно легче.

Поэтому рациональный механизм, предназначенный для выдергивания свай, должен отвечать следующим основным требованиям:

- 1) развивать большую силу в начале работы для сдвига сваи,
- 2) ускорять извлечение сваи по мере того, как сопротивление ее уменьшается и, конечно,
- 3) установка механизма должна производиться легко и скоро, не требуя сложных и тяжелых вспомогательных приспособлений.

Рассмотрим теперь, насколько отвечают этим требованиям существующие механизмы.

1. *Дифференциальные блоки и лебедки.* Блок с большой передачей дает усилие достаточное для преодоления сопротивления забитой в грунт сваи, но эта передача, необходимая в начале работы, остается неизменной даже и тогда, когда сопротивление сваи уже незначительно, что сильно замедляет работу.

Еще более существенный недостаток этого механизма заключается в том, что сопротивление сваи целиком передается на разную, к которой прикрепляется блок. Поэтому разного должна быть весьма солидна и тяжела, что представляет трудность при переносках и установках. Последнее обстоятельство является весьма существенным.

По тем же причинам лебедка также является малоприменимым орудием.

Вследствие своей громоздкости она представляет еще большие затруднения при перестановках.

К тому же стоимость лебедок высока.

2. *Домкраты* хотя и обладают невысоким коэффициентом полезного действия, тем не менее очень часто применяются для выдергивания свай, вследствие того, что их употребление не требует устройства сложных и тяжелых приспособлений.

Обыкновенно два домкрата устанавливаются симметрично относительно сваи и действуют на поперечину (рельс), скрепленную с этой последней. При примитивном устройстве захвата работа домкрата, конечно, не может идти успешно.

Но и при более совершенном его устройстве, она идет крайне медленно вследствие опять-таки большой передачи механизма, когда она является уже излишней, и периодических перерывов для опускания подъемного стержня в начальное положение и для наращивания опор.

3. *Простой рычаг* (вага, длинное бревно, обмотанное одним концом цепью или веревкой, связывающей бревно со свайей), отличаясь простотой устройства и высоким коэффициентом полезного действия, выгоден при не слишком большой глубине забивки. При большой глубине забивки (что в перемычках встречается не часто) рычаг не может быть выгоден, вследствие внеосевого направления силы, выдергивающей сваю.

Горизонтальная слагающая действующей силы, направленной под углом к оси сваи, прижимает сваю к земле и понижает эффект действия рычага.

Все же вага — лучшее приспособление для выдергивания свай в русских условиях.

4. *Фарконы* действуют с применением винтовой передачи, путем сближения двух вертикальных винтов, соединенных вращаемой гайкой.

Вращение гайки горизонтальным ломом, продемым в гайку, вызывает сближение концов сходящихся вертикальных болтов за счет выдергивания свай. Верхний болт соединен с верхом треноги, нижний — с верхом сваи.

Расстояние между болтами варьирует в незначительных пределах 6,5—15,0 см (0,03—0,07 саж.).

Следовательно, действие фаркопа хорошо в начальный момент, далее понадобится вывинчивание верхнего болта и новое закрепление его вверху. Для фаркопа требуется тренога, как и для блоков (талей), достаточно жесткая (следовательно, тяжелая) во избежание прогибов ног, что вызвало бы безрезультатное поворачивание гайки рабочими. Под ноги должны быть уложены горизонтальные брусья во избежание погружения ног в грунт.

Фарконы — простые, совсем недорогие приборы, дающие весьма небольшую производительность (3 сваи в смену при 3,20 м (1,50 саж.) забивки и крупно-песчаном грунте с галькой). Удобны тем, что требуют на прибор всего 2—3 простых чернорабочих. Необходимость перемещения треноги — другой недостаток способа.

5. *Сложный рычаг с самостоятельной точкой опоры* (сист. инж. Тагеева).

В 1903 г. инж. В. Л. Тагеев изобрел новый механизм для выдергивания свай, так называемый, сложный рычаг.

При конструировании рычага В. Л. Тагеев исходил из величины потребного усилия для выдергивания свай, принимая его равным $\frac{2}{3}$ от допускаемой нагрузки на сваю, т.-е. 700 пудов = 11500 кг.

Прибор состоит из двух рычажных систем в четыре ромба каждая (см. черт. №№ 425—427) с передачей около 7, скрепленных захватным бугелем «aa» и вверху распорным «dd».

Положение рычажных систем относительно бугелей симметричное.

Нижний бугель для скрепления со сваями имеет коническую поверхность.

Самое закрепление производится посредством закладывания между свай и бугелем железных заершенных клиньев.

Движущая сила прилагается в узлах *dd*, в опорных же узлах *bb* прибор снабжен пятовыми башмаками.

Цепь *dgd*, к которой прилагается движущая сила, захватывается крючьями за кольца прибора в *dd*.

Прибору придано небольшое передаточное число вследствие того, что он предназначался для работы совместно с двух тонным дифференциальным блоком, что дает выгоды в работе (см. ниже).

Для прикрепления блока может служить разнога.

Прибор надевается бугелем на сваю и устанавливается опорами на деревянные брусья, располагаемые около свай.

Между бугелем и сваями закладываются клинья и цепь блока, подвешенного к разноге, сцепляется с прибором и затем выбирается и вытягивает прибор, который сдвигает сваю.

После этого цепи талей травятся, прибор отцепляется, складывается и легким ударом по бугелю вниз освобождается от сваи, устанавливается на деревянные подкладки и вновь заклинивается.

В это время цепь блока травится и когда она достигает прибора, сцепляется с ним, после чего производится новый подъем.

На установку прибора, заклинивание и один полный подъем его требуется в среднем 10 — 15 минут времени и более.

После нескольких таких подъемов является уже возможным тащить сваю одним блоком.

Когда цепь блока будет вся выбрана, прибор складывается, цепь захватывается за бугель и свая вытаскивается на поверхность.

Прибор был применен в 1903 году в Ленинградском Коммерческом порту и обслуживался 3 рабочими. Результаты работы оказались удовлетворительными при глубине забивки свай до 5 м.

Для вытаскивания шпунтовых свай требуется лишь видоизменить захватную часть, как показано на чертежах №№ 428 — 429.

Внутренние стороны бугеля, прилегающие непосредственно к свае, должны быть снабжены шипами.

Прибор может быть построен с большим передаточным числом и действовать самостоятельно, без применения блока.

Однако, предельная величина передачи, при которой прибор будет практически удобен, может быть найдена лишь опытным путем.

Надо пожалеть, что прибор до сих пор не испытан вполне достаточно.

Первые опыты показали удовлетворительную работу нового механизма, который, повидимому, мог бы рассчитывать на применение при большой глубине забивки свай.

Изложенным закончим описание приемов выдергивания свай. Все приспособления в данном случае практически уступают рычагу (ваге) и его видоизменениям.

Чертеж № 430 изображает американскую конструкцию рычага для выдергивания металлических свай.

§ 10. Особенности производства работ по постройке плотин в Америке.

Особенности производства работ по постройке плотин в Америке сводятся преимущественно к широкой механизации транспортировки грузов. Для этой цели широко применяются канатные линии (канатные краны).

Канатные линии.

Общие сведения о применении канатных кранов. В последнее время в американской практике при постройке плотин редко обходятся без применения канатных кранов. Это понятно. Они дают возможность обходиться без подмостей и подъемных приспособлений при возведении сооружений, пересекающих лог, ущелье или долину реки, когда строительные материалы подвозятся к сооружению сверху, а не снизу.

Применяются канатные краны как при удалении грунта, вынутого из котлована, так и для подачи бетона, камня, бетонных форм, цемента в бочках или мешках, а также машин, не превышающих по весу предельную нагрузку крана, и отдельных частей металлических конструкций. Был пример передачи с берега 20 т паровоза при помощи канатного крана (Engle Dam).

Особенно выгодна работа кранов при подаче бетона и транспортировании грунта.

Применяются краны также для выемки грунта. В этом случае они снабжаются черпаками особой конструкции.

Подача камня в кладку — менее выгодная работа, так как для одной и той же кубатуры кладки употребление в дело камня по сравнению с аналогичным количеством бетона вызывает большее число операций.

При постройке плотин краны устраивались различных пролетов, обычно в пределах от 100 до 550 м (30 до 250 саж.), но встречались установки значительно больших пролетов, как например, на р. Аллегани в Пенсильвании, где кран имел пролет 665 м (312 саж.) при полезной нагрузке в 2000 кг (120 пуд.).

Большинство известных американских плотин выполнено при самом широком участии канатных кранов при нагрузке кранов от 2 т до 15 т при скорости передачи свыше 640 м (300 саж./мин.) и скорости подъема до 50 м (25 саж./мин.).

При этом высота башен изменялась от 17 м (8 саж.) до 40 м (18 саж.).

При налаженной работе краны находятся непрерывно в действии в течение 99% времени; 1% времени необходим для ремонта.

Конструкция кранов. Канатные краны устраиваются с неподвижными опорами, а также подвижными, перемещающимися по особым рельсовым путям.

При этом или обе опоры подвижны или одна неподвижна, а другая перемещается по дуге круга около первой опоры, как центра. Подвижные опоры применяются в том случае, когда установка не обслуживает всего района работ, а потому через некоторые промежутки времени перемещается.

Для плотин значительной ширины употребляются несколько кранов, перекрывающих всю ширину плотины, или передвигающихся перпендикулярно оси плотины по мере производства работ. При этом расстояние между кранами берется небольшое 4,5—11 м (2 — 5 саж.) (Shoshone Dam, Blewett Falls Dam).

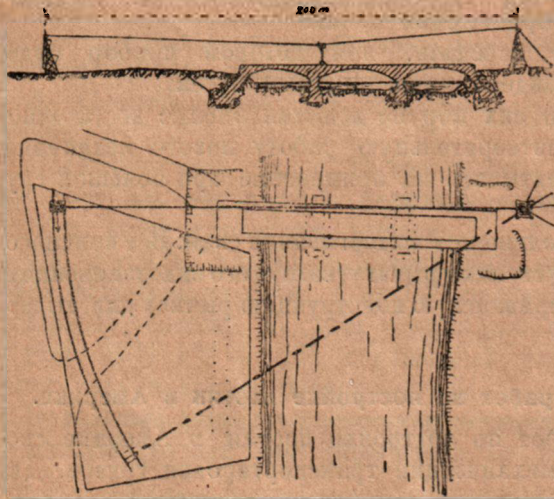


Рис. 11. Канатный кран с подвижной опорой.

Груз нередко подается в сторону от канатной линии на 7,5 — 9 м (25' — 30') (плотины в Южной Америке).

В случае, если верхняя надстройка плотины имеет значительную высоту и небольшую кубатуру, материалы подаются на особые разгрузочные платформы, откуда забираются дерриками (то же делается, когда плотина суживается вверх).

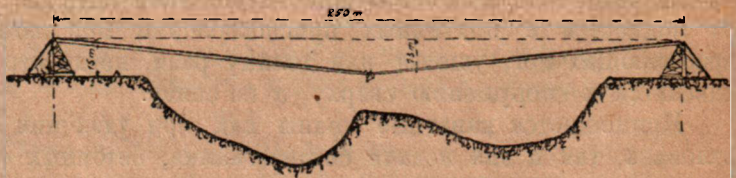


Рис. 12. Канатный кран с неподвижными опорами.

Платформы устраиваются по экономическим соображениям, чтобы не делать башни еще выше, а работу кранов для главной массы грузов менее

продуктивной, а также ввиду стесненного места работ в верхней части плотины.

Временные разгрузочные платформы поддерживаются легкой деревянной конструкцией, опирающейся в уже произведенную кладку (Cross River Dam), или поддерживаются козлами, расположенными по обе стороны плотины.

При этом обслуживающие плотину деррики также переносятся канатными линиями при перемене места своего расположения.

Конечно, желательнее обойтись без дерриков, если это возможно сделать, не удорожая сильно установку.

Канатные линии принимали участие также при постройке земляных плотин специально для устройства бетонного ядра плотины.

Результаты их применения оказались вполне благоприятные в американских условиях.

Башни устраиваются или в виде фермы, или стоечного типа в зависимости от величины пролета, нагрузки и имеющегося свободного места для опор, при чем в Америке делаются чаще из дерева, в Европе — из железа. При этом первые снабжаются, кроме раскреплений, также противовесами, а вторые — только раскрепляются.

Высота башен определяется пролетом, провесом каната и высшим пунктом подачи материала.

Расстояние башни от берега не должно быть меньше высоты башни.

Краны строятся с применением для них энергии пара, сжатого воздуха или электричества.

Электрические краны устраиваются так, что ими можно управлять с любого пункта, чем облегчается управление краном и надзор за его работой.

Механическое оборудование канатных кранов.

Каждый канатный кран должен быть оборудован необходимыми механизмами и машинами для подъема, передвижения груза и опрокидывания в воздухе ковша.

Иногда устраиваются краны и без этого последнего приспособления.

Канатов требуется несколько, а именно:

1) несущий или главный, 2) ведущий или тяговый, 3) подъемный и 4) поддерживающий — для поддержания провисающих ведущего и подъемного канатов.

Нужен также и канат для опрокидывания ковша.

Несущий канат в установках для постройки американских плотин имеет диаметр от $1\frac{3}{4}'' = 4,5$ см до $2\frac{1}{2}'' = 6,4$ см при нагрузках от 2 т до 12 т.

При этом скорости подъема доходили до 1,70 м/сек. (0,80 саж.) и скорости перемещения достигали 9,50 м/сек. (4,50 саж.) — 10,5 м/сек. (5,00 саж.). В таких случаях канатные линии имели особой конструкции тележки, а также распорки между канатами, поглощающие удар. Передвижная тележка с подъемным полиспастом получает управление обыкновенно с одной из опор крана, где устанавливается будка для машиниста. Подвижные опоры башенного типа устанавливаются на рельсах, от 2 до 3 рельсов под каждую опору. На одной из опор, которая считается главной, устанавливается обычно паровая машина с котлом, канатные барабаны и необходимый балласт. Другая опора также загружается балластом. В случае малых пролетов и при

опорах стоечного типа машинное отделение помещается в особом строении. Передвижение башен производится помощью системы блоков, закрепляющихся с каждой стороны опоры.

Скорость передвижения опор равна в среднем около 15—17 м (7—8 саж.) в минуту.

В общем перестановка крана занимает 1—1½ часа.

Чтобы судить о силе двигателей, обслуживающих кран, приведем пример. При постройке Гатунских шлюзов (пролет кранов 240 м (114 саж.), применялись: 1) лебедка для подъема, 2) мотор в 150 л. сил. для приведения ее в действие, 3) мотор для опрокидывания ковша, 4) мотор в 25 л. сил для поступательного перемещения груза.

Несущий канат. (Его толщина и прогиб во время работы крана). Провисание несущего каната определяется по формулам для нагрузки собственным весом или сосредоточенным грузом Р.

Пусть S — натяжение каната,

q — вес 1 пог. м каната,

y — прогиб каната в точке, где натяжение равно—S,

m — коэффициент безопасности, принимаемый обычно равным—6,

F — площадь сечения каната в см²,

K_z — разрывающее канат усилие в кг/см²,

γ — вес 1 кубического дециметра каната в кг,

ξ — коэффициент свивания каната.

Для цепной линии имеем $S = q \cdot y$.

Кроме того, $10 \cdot q = \xi \cdot F \cdot \gamma$ (см. Stephan, Die Drahtseilbahnen).

Отсюда

$$m \cdot S_{\max} = q \cdot \frac{10 \cdot K_z}{\gamma \cdot \xi}.$$

Величина $\frac{10 \cdot K_z}{\gamma \cdot \xi} = R$ — та длина в метрах, при которой канат разрывается от собственного веса, будучи вертикально подвешен.

Прогиб каната от собственного веса равен

$$f_1 = \frac{1}{8} \cdot \frac{q}{H} \cdot \frac{1}{a} \cdot a^2,$$

где H — горизонтальная составляющая силы S,

l — расстояние между опорами по прямой линии,

a — его горизонтальная проекция.

В случае опор, расположенных на одинаковой высоте, имеем

$$f_1 = \frac{1}{8} \frac{l^2 \cdot m}{R}$$

при $l = a$ и $H = S_{\max} - q \cdot b$, где b — разность высот опор.

В случае приложения груза Р общий прогиб

$$f = f_1 \left(1 + \frac{2 P}{q \cdot l} \right).$$

В случае жильных канатов R принимают от 12500 до 18800 м.

Применим вышеприведенные формулы для канатных линий, обслуживавших Гатунские шлюзы.

При пролете $l = 240,00$ м, $P = 6000$ кг, $d_{\text{кан.}} = 2\frac{1}{4}'' = 57$ мм, $f = 13,20$ м (Ляхницкий. Панамский канал).

При

$$m = 6, q = 1,55 \left(\frac{57}{20} \right)^2 = 12,60 \text{ кг п. м.}$$

получаем

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{8} \cdot l^2 \cdot \frac{m}{R} \cdot \left(1 + \frac{2P}{q \cdot l} \right) = 13,20 \text{ м при } R = 16360 \text{ м.}$$

Таким образом для соображений при различных пролетах кранов о величине провеса канатов можем пользоваться приведенными формулами, принимая

$$m = 6 \text{ и } R = 16360 \text{ м.}$$

Как уже упомянуто было выше, несущий канат при постройке американских плотин брался диаметром от $d = 1\frac{3}{4}'' = 4,5$ см до $d = 2\frac{1}{2}'' = 6,35$ см, и для пролетов от 250—300 м (120 до 150 саж.), при $P = 6$ тонн его можно брать $d = 2\frac{1}{2}'' = 6,35$ см.

Производительность кранов. Производительность кранов или число рейсов тележки при данной нагрузке колеблется в зависимости от скорости подъема, перемещения, высоты подъема и длины пути тележки.

При средних пролетах 200—300 м (100—150 саж.) число рейсов в новейших установках равно 16—20 за 1 час. (плотина Iorgysem. Гатунские шлюзы Панамского канала).

Эту норму можно принять за основание для соображений, не останавливаясь на рекордных цифрах, как, например, 30 рейсов в час.

Вообще в среднем можно считать месячную производительность канатных кранов в 700 куб. саж. = 6800 м³ что дает за день $\frac{700}{25} = 28$ куб. с. = 272 м³, за час $3\frac{1}{2}$ куб. с. = 34 м³ (8-ми часовой рабочий день), за рейс $\frac{3,5 \times 13}{18} = 2\frac{1}{2}$ куб. ярд = 1,9 м³, т.-е. обычную нагрузку бадьи канатного крана.

Персонал для обслуживания кранов. При обслуживании кранов необходим следующий персонал:

Машинист 1, помощник его 1, кочегар 1, смазчик 1, сигнальщик при бадье 1, общий надсмотрщик при работе нескольких кранов 1.

Расход энергии. О расходе энергии имеются весьма неполные данные. По ним, на каждые 1000 пудов = 16380 кг транспортируемого груза надо полагать 10 киловатт-часов. Пролеты при этом имеются в виду до 200—300 м (100—150 саж.).

Стоимость оборудования и эксплуатации. Стоимость укрепления башен в американских условиях равна от 100 до 400 долларов. Стоимость подачи грузов канатными кранами, по американским данным, равна $\frac{1}{2}$ коп. с пуда (31 коп. за 1000 кг) при пролетах около 200 м (100 саж.), считая % и амортизацию. При этом заработная плата рабочих, кочегаров и машинистов выше, нежели у нас до войны.

Так, на работах по постройке Чикагского осушительного канала при пролетах кранов до 200 м (от 80 саж. до 100 саж.) стоимость транспортирования скалистого грунта обходилась в 30 центов за 1 куб. ярд или 3,9 доллара за 1 куб. саж., т.-е. 7 р. 80 к. за 1 куб. саж. = 80 коп. за 1 м³, включая стоимость нагрузки, заработную плату бригады, стоимость угля, масла, расходы на ремонт и эксплуатацию.

Размеры заработной платы при этом были за 10-ти часовой рабочий день:

чернорабочий	1,50	доллара
кочегар	1,80	»
механик	2,70	»
машинист	2,75	»
надсмотрщик	3,00	»

Возможность применения канатных линий в русских условиях. В американских условиях считается, что канатные линии вносят экономию по сравнению с другими способами подачи материалов в размере 20%.

Во всяком случае даже при прочих равных условиях укажем на значительные преимущества канатных линий в применении к постройке плотины. При этом будем помнить, что применение их целесообразно, когда материалы подвозятся к сооружению *сверху, а не снизу*.

1. Канатные краны позволяют развить весьма быстрый темп работ по сравнению с другими способами, тем самым удешевляя работу, так как сокращаются расходы на водоотлив и уменьшается время пребывания капитала в мертвом состоянии.

2. При этом оказывается возможным производить промежуточные операции, как, например, подъем, передвижение, нагрузку и выгрузку отдельных частей оборудования и материалов.

3. Отпадает надобность держать армию рабочих, которая никогда не дает строителю возможности составить программу работ с указанием сроков выполнения их (в русских условиях).

Каждый строитель плотин и шлюзов на р. Сев. Довпе составлял программу работ, располагая опытом предыдущего года в тех же самых условиях. Несмотря на это каждому пришлось сильно отступить от намеченного как в отношении бетонных работ, так в особенности в отношении земляных.

Причины исключительно в том, что трудно регулировать количество рабочей силы по своему усмотрению. Чаще уменьшение числа рабочих той или иной категории происходит вопреки воле строителей, и лучше всех выйдет из положения строитель, имеющий адреса многочисленных артелей рабочих, готовых по первому призыву его заблаговременно прибыть на место работ.

И этот единственный прием, которым не каждый располагает, в настоящих условиях является мало пригодным в виду изменившихся экономических условий в России.

4. При значительных паводках на реке канатные краны приобретают особую ценность, так как позволяют быстро удалять на берег вспомогательные приспособления и оставшиеся материалы.

Теперь о недостатках канатных кранов.
Таковые имеются.

1. Отдаленное положение работ является неблагоприятным обстоятельством для канатных линий, так как в случае каких-либо повреждений, могут встретиться затруднения при восстановлении правильной работы кранов.

2. Применение кранов вызывает необходимость приобретения дополнительного механического оборудования к тому, без коего заведомо нельзя приступить к работам.

Указанное обстоятельство играет роль при недостаточных ассигнованиях на работы, с чем всегда можно встретиться.

ТАВЛИЦА

данных, относящихся к производству работ по постройке плотин при помощи канатных линий в Америке.

Название сооружения.	Размеры сооружения в метрах.		Назначение кранов		Число кранов.	Прочность кранов в метрах.	Площадь крана в кв. метрах.	Диаг. несущего каната в см.	Конструкция опор	Высота башен в метрах.	
	Ширина.	Глубина.								Платформа.	Ветропосты.
Гатунские плотины Панамского канала	34	305	Подача бетона, форм и желез.	Подача бетона, форм и желез.	4	240	6×2	5,5	Башни подвижные и неподвижные.	20	25
Catafact Dam	—	255	Подача материалов в кладку.	Подача материалов в кладку.	2	324	15	—	Подвижные.	17	17
Barren Jack Dam	45	240	—	—	—	—	4	—	Подвижные.	28	31
New Croton Falls Dam	25	335	2 — на плотине, 1 — подача камня в дробилки.	2 — на плотине, 1 — подача камня в дробилки.	2	437	10	—	Подвижные.	28	19
Cross River Dam	58	275	Обслуж. плотину и каменоломню.	Обслуж. плотину и каменоломню.	3	383	12	5,7	Подвижные.	—	—
Olive Bridge Dam	—	305	Подача бетона, камня, угля.	Подача бетона, камня, угля.	4	466	6	6,3	Подвижные.	—	—
Rush Green Dam	—	92	—	—	1	270	3	—	—	—	—
Nashua Dam	—	92	—	—	1	213	4	6,3	—	—	—
Lock and Dam West Virginia	—	—	—	—	1	458	4	—	—	—	—
Lock and Dam West No 10 Kentucky River	—	—	—	—	—	140	4	4,5	—	—	—
Ohlo River Improvement of Fall at Louisville	—	—	—	—	1	415	20,5	4,5	Неподвижные.	—	—
Roosevelt Dam	—	337	—	—	3	348	15	—	Неподвижные.	25	30
Shoshone Dam	33	60	Подача бетона, удал. вынут. грунта.	Подача бетона, удал. вынут. грунта.	2	337	10	—	—	38	8
Pathfinder Dam	—	130	—	—	2	388	10	—	—	15	15
Medina Irrigation Co Dam	—	170	—	—	2	383	10	5,0	—	30	30
La Bonquilla Dam	64	250	Подача бетона и камня.	Подача бетона и камня.	2	364	10	—	Подвижные.	21	21
Labontan Dam	183	420	—	—	4	400	10	—	—	—	—
Arrow Hook Dam	—	380	—	—	1	875	10	—	Неподвижные.	—	—
Engle Dam	—	362	—	—	2	437	—	—	—	—	—
Guyabal Dam	46	500	Камень и бетон.	Камень и бетон.	3	400	15	—	—	—	—
					—	430	—	—	—	24	32
					—	355	—	—	Неподвижные.	30	34

При этом скорости подъема грунта равнялись около 1,0 — 1,7 м в сек, а передвигаясь — 5,30 — 9,50 м в сек.

Первый из указанных недостатков канатных кранов уже учитывался фирмами, изготовляющими их. Все части кранов, работающих в таких условиях, устраиваются возможно проще, чтобы не испытывать затруднений в случае ремонта (пример: краны Lidgerwood при постройке Pathfinder Dam). Наконец можно пригласить особого специалиста мастера от фирмы, доставившей краны, на постоянную службу на время работы кранов.

Что касается второго обстоятельства, то будем полагать, что в случае недостаточных ресурсов вовсе не будет приступлено к новым крупным работам в России из тех соображений, что, потерпев естественную неудачу при слабых денежных средствах, на долгое время можно привить обществу скептическое отношение к возможности выполнения работ, отдалив их окончание на продолжительное время (пример: Панамский канал).

Далее, некоторые местности России подвержены весьма сильным ветрам.

Это обстоятельство не должно нас смущать в отношении канатных кранов, так как имеются примеры работ ими во время ураганов при переустройстве волноломов.

В заключение прилагаем таблицу данных, относящихся к производству работ по постройке плотин при помощи канатных кранов.

Государственное Техническое Издательство.

МОСКВА, Ильинка, Юшков пер., д. 6. Тел. 2-56-34.

- Нестнер, Е. А., проф. Курс паровозов с атласом. М. 1922 г. 554 стр. Ц. 5 р. 85 к.
- Нирилов, Г. М., инж. Районные отопительно-силовые станции. М. 1923 г. 49 стр. 40 рис. Ц. 95 к.
- Комаров, Н. С. инж. Холод. Руководство по холодильному делу. М. 1924 г. 500 стр. 223 рис. Ц. 4 р. 90 к.
- Креутер, Ф. Расчет и возведение каменных водоудержательных плотин. Перевод инж. Н. Анисимова. М. 1923 г. 35 стр. 19 черт. Ц. 55 к.
- Крылов, А. М. Минеральные и растительные масла для поливки инструментов, смазки машин, двигателей и разных механизмов. П. 1919 г. 89 стр. 7 рис. Ц. 85 к.
- Крылов, А. П. О специальных сортах стали. М. 1922 г. 200 стр. 32 рис. Ц. 2 р. 20 к.
- Куколевский, И. И., проф. Сборник нормалей деталей машин. М. 1922 г. 96 табл. 97 черт. Ц. 3 р. 25 к.
- Кюн, В. О предельных допусках в машиностроении. Перевод с немецкого проф. А. Д. Гатчука. Б. 1923 г. 246 стр. Ц. 3 р. 60 к.
- Лахтин, Н. К. проф. и Кашкаров, Н. А., проф. Железобетон. Часть I. Пособие для студентов и техников по проектированию и выполнению железобетонных сооружений. М. 1924 г. 171 стр. 114 рис.
- Левенсон, Л. Б., проф. Общая теория машин (статика и динамика машин). М. 1923 г. 192 стр. 140 рис. Ц. 2 р. 20 к.
- Его же. Кинематика механизмов. М. 1923 г. 200 стр. 262 рис. Ц. 2 р. 20 к.
- Ломоносов, Ю. В. Тяговые расчеты. Б. 1922 г. 298 стр. 121 рис. Ц. 4 р. 15 к.
- Лукьянов, П. М., инж.-техн. Производство серной кислоты методом контактного окисления. М. 1922 г. 502 стр. 166 рис. Ц. 4 р. 95 к.
- Малер, Г., проф. Задачник по физике с ответами. Перев. с нем. изд. под ред. проф. В. Д. Зернова. М. 1923 г. 115 стр. Ц. 1 р.
- Мартенс, Л. Литые колеса для подвижного состава железных дорог. Чугунные закаленные Гриффина и стальные Девиса. М. 1923 г. 181 стр. 150 черт. Ц. 5 р. 20 к.
- Меншуткин, Б. Н., проф. Курс общей (неорганической) химии. М. 1924 г. 373 стр. 85 рис. Ц. 5 р.
- Мещерский, И. В., проф. Сборник задач по теоретической механике. П. 1923 г. 140 стр. 367 рис. Ц. 1 р. 60 к.
- Моск. О-во Любит. Астрономии. Астрономический календарь на 1923 год. Под ред. инж. В. Ветчинкина. П. 1923 г. 120 стр. Ц. 1 р. 25 к.
- Его же. Астрономический календарь на 1924 г. Переменная часть. Под ред. инж.-мех. В. Ветчинкина. М. 1924 г. 88 стр. Ц. 2 р. 75 к.
- Новосильцев, И. С., инж. Подземная откачка подвижными двигателями. М. 1924 г. 72 стр. 53 рис. Ц. 1 р. 35 к.
- Оппенгейм, Н. А., проф. Деревянные шпалы на русских железных дорогах с точки зрения народного хозяйства. М. 1921 г. 109 стр. Ц. 1 р. 20 к.
- Его же. Успехи заграничной техники и новейшие течения в области устройства рельсового пути (за 1912—22 г.г.). М. 1923 г. 288 стр. 197 рис. Ц. 4 р. 50 к.
- Орлов, М. М., проф. Лесная вспомогательная книжка для таксации и технических расчетов. М. 1922 г. 361 стр. (76 табл.), в перепл. Ц. 4 р. 50 к.
- Орлов, П. М., проф. Таблицы приращений прямоугольных координат. М. 1924 г. 98 стр. Ц. 2 р. 25 к.
- Передерий, Г. П., проф. Курс железобетонных мостов. Изд. 2-е. П. 1923 г. 512 стр. 626 рис. Ц. 7 р. 80 к.
- Рельман, И. Я., инж. Электрофикация. Программа общего курса лекций для высших технических учебных заведений. М. 1923 г. 16 стр. Ц. 28 к.
- Его же. Электрофикация сельского хозяйства. П. 1923 г. 80 стр. Ц. 95 к.
- Его же. Электрофикация мелкой и кустарной промышленности. М. 1923 г. 80 стр. 15 рис. Ц. 1 р. 10 к.
- Рансо, Л. Начало статике. Под ред. проф. А. Н. Долгова. П. 1920 г. 213 стр. 91 рис. Ц. 1 р. 20 к.
- Ридлер, А., проф. Лабораторное испытание автомобиля. М. 1924 г. 48 стр. 44 рис. Ц. 80 к.
- Слясский, Б. Таблицы для сахароваров. Б. 1922 г. 340 стр. Ц. 3 р. 80 к.
- Соловьев, С. М., проф. Основной курс низшей геодезии. Часть I. М. 1922 г. 232 стр. 253 рис. Ц. 2 р. 75 к.
- Его же. То же. Часть II. М. 1924 г. 322 стр. 268 рис. Ц. 4 р. 50 к.
- Соловцов, И. Л., инж.-электрот. Электрическое оборудование трамвайных вагонов гор. ж. д. с электрич. тягой. Практическое руководство для инженеров. М. 1922 г. 96 стр. 87 рис. Ц. 1 р. 10 к.
- Сухаревский, М., проф. Взрывчатые вещества и взрывные работы. Справочное руковод. для инженеров, техников и студентов. Т. I. М. 1923 г. 916 стр. 444 рис. Ц. 8 р.
- Его же. То же. Т. II. М. 1923 г. 462 стр. 447 рис. Ц. 7 р. 50 к.
- Тейлор, Ф. Искусство резать металлы. Б. 1922 г. 356 стр. 99 рис. 11 вкладн. табл. и черт. Ц. 4 р. 90 к.
- Труфанов, А. А., инж. Речная гидрология. М. 1923 г. 84 стр. 11 рис. Ц. 1 р. 30 к.

Государственное Техническое Издательство.

МОСКВА, Ильинка, Юшков пер., д. 6. Тел. 2-56-34.

- Федорович, О. М., проф. Каменные работы. Изд. 2-е. М. 1922 г. 276 стр. 284 рис. Ц. 3 р. 90 к.
Федоровский, Н. М., проф. Курс минералогии. Часть I. Генезис минералов. М. 1923 г. 200 стр. 83 рис. Ц. 2 р. 75 к.
Федоровский, Н. М. То же. Часть II. Описание минералов. М. 1923 г. 175 стр. 112 рис. Ц. 1 р. 85 к.
Его же. То же. Часть III. Определение минералов. М. 1923 г. 174 стр. 15 рис. Ц. 1 р. 85 к.
Ховв, Г., проф. Железо, сталь и другие сплавы. Перевод сангл. И. И. Жукова. Б. 1923 г. 535 стр. 123 рис. Ц. 6 р. (в переплете).
Худяков, П. К., проф. Геометрический метод исследования упругой линии согнутой балки. Б. 1923 г. 129 стр. 69 рис. Ц. 1 р. 10 к.
Его же. Как рассчитывать на крепость части машин и сооружений (курс сопротивл. материалов без высшей математики). М. 1922 г. 633 стр. 256 рис. Ц. 7 р. 80 к. (в переплете).
Хюге. Справочная книга для инженеров, архитекторов и студентов. 10-е изд. Ч. I. Б. 1921 г. 1242 стр. 732 рис. Ц. 7 р. 80 к.
Его же. То же. Ч. II. Б. 1921 г. 1395 стр. 1330 рис. Ц. 7 р. 80 к.
Его же. То же. Ч. III. Б. 1921 г. 1009 стр. 1058 рис. Ц. 7 р. 80 к.
Холмогоров, И. М., проф. Машиностроительное черчение. П. 1922 г. 38 стр. 35 черт. Ц. 80 к.
Черновский, Н. Ф. Век машин, или столетие непрерывных успехов технического творчества. М. 1923 г. 24 стр. Ц. 33 к.
Чечотт, Г. О., проф. Проектирование и устройство простейших сортировочных для обогащения каменных углей. М. 1923 г. 96 стр. 122 рис. Ц. 2 р. 20 к.
Шенфер, К. И., проф. Коллекторные двигатели переменного тока. М. 1921 г. 188 стр. 190 рис. Ц. 2 р. 30 к.
Шмидт, Гарри. Теория относительности. М. 1922 г. 160 стр. 5 рис. Ц. 65 к.
Шмидт, О., проф. Химия для техникумов. Б. 1923 г. 192 стр. 58 рис. Ц. 2 р. 30 к.
Штретер, В. Н., проф. Паровые котлы, в тепловых расчетах и цифрах. Л. 1924 г. 112 стр. 23 рис. Ц. 1 р. 50 к.
* Аппель, П. проф. Элементы математического анализа. Перев. с франц. под ред. проф. П. П. Привалова. Ч. II.
* Берлов, М. Н., проф. Детали машин. Выпуски III, V, VI, VI', VIII и IX.
* Броунов, П. И., проф. Метеорология.
* Его же. Атмосферная оптика.
* Виттинг. Дифференциальное и интегральное исчисления.
* Демьянов, И. Я., проф. Органическая химия. Ч. III.
* Жуковский, Н. Е., проф. Теоретические основы воздухоплавания.
* Клейнлогель, А., инж. Формулы для расчета рамных конструкций.
* Лахтин, Н. К., проф. и Кашаров, Н. А., проф. Железобетон. Ч. II и III.
* Мерш, Р., инж. Экскаваторы и применение их при горных работах.
* Настюков, А. М., проф. Техническая химия.
* Павлов, Н. Н., проф. Расчеты в технике.
* Подольский, И. С., проф. Строительная механика. Ч. I. (Сопротивление материалов).
* Соколов, П. П., проф. Номография.
* Станкевич, И. В., проф. Теоретическая механика. Ч. I и II.
* Стиль, А. Электрическая передача энергии.
* Трелецкий, Н. С., инж. Разводные мосты.
Худяков, П. К., проф. Задачник по сопротивлению материалов.

М. М. К. УРОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ для строительных работ в метрических и русских мерах (оффич. издан.), в переплете. М. 1923 г. 334 стр. Ц. 12 р.

О'Рурк, инж. ТАБЛИЦЫ УМНОЖЕНИЯ. (Карманный справочник). Незаменимое пособие в отношении быстроты вычислений при технических, коммерческих и валютных расчетах. П. 1923 г. Ц. 2 р. 50 к.

Н. Т. О.

„ГОСТЕХИЗДАТ“

В. С. Н. Х.

ПРАВЛЕНИЕ: Москва, Ильинка, Юшков пер., 6. Тел. 2-56-34.

КНИЖНЫЕ МАГАЗИНЫ:

Москва:

Покровка, 28, (Оптовая база).
Петровка, 10, тел. 1-95-34.
Разгуляй, 38/2, тел. 1-95-51.
Волхонка, 6, тел. 2-70-69.

Ленинград.

Загородный, 4, тел. 1-69-37.